

ISSN 0016-7762 (Print)  
ISSN 2618-8708 (Online)

2025

Том 67, № 2  
Vol. 67, #2

PROCEEDINGS OF HIGHER  
EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS  
GEOLOGY AND EXPLORATION

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

2

# ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет  
имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ)

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
**ГЕОЛОГИЯ**  
И РАЗВЕДКА  
Научно-методический журнал

**Том 67, № 2**  
2025

Журнал издается с января 1958 г.  
Периодичность: 4 раза в год

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation  
Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRU)

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS  
**GEOLOGY**  
AND  
EXPLORATION  
Scientific methodological journal

**Vol. 67, No. 2**  
2025

The journal has been published since 1958  
Frequency: Quarterly

**ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ**

В журнале «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» публикуются статьи, содержащие результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в вузах и научно-исследовательских учреждениях, геолого-разведочных предприятиях, а также в порядке личной инициативы авторов. Печатаются обзорные статьи, освещающие современное состояние актуальных проблем геологической науки и геолого-разведочной практики, материалы научных конференций, симпозиумов и совещаний. Журнал пропагандирует передовой производственный опыт.

Журнал «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» за более чем 60 лет своей деятельности утвердил себя как одно из ведущих и авторитетных научных периодических изданий в области наук о Земле. Он действительно участвует в решении научно-технических проблем, пропагандирует новейшие достижения и укрепляет авторитет вузовской и отраслевой науки в области геологии, способствует повышению уровня подготовки высококвалифицированных инженерных, научных и педагогических кадров.

**Главный редактор**

**Керимов Вагиф Юнус оглы**, заслуженный геолог Российской Федерации, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Российский государственный геолого-разведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

**Заместители главного редактора**

**Кузнецов Николай Борисович**, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, Геологический институт Российской академии наук, г. Москва, Россия  
**Попов Юрий Анатольевич**, доктор физико-математических наук, профессор, Сколковский институт науки и технологий, г. Москва, Россия

**Члены редакционной коллегии**

**Гаранин Виктор Константинович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана РАН, г. Москва, Россия

**Дроздов Дмитрий Степанович**, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт криосферы Земли Сибирского отделения РАН, г. Тюмень, Россия

**Дронов Андрей Викторович**, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

**Игнатьева Маргарита Николаевна**, доктор экономических наук, профессор, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

**Леонов Михаил Георгиевич**, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

**Маслов Андрей Викторович**, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия

**Марин Юрий Борисович**, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

**Петров Владислав Александрович**, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, директор Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, Россия

**Плечов Павел Юрьевич**, доктор геолого-минералогических наук, директор, Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана, г. Москва, Россия

**Самсонов Александр Владимирович**, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, Россия

**Семинский Константин Жанович**, доктор геолого-минералогических наук, Институт земной коры Сибирского отделения РАН, г. Иркутск, Россия

**Тихоцкий Сергей Андреевич**, академик РАН, доктор физико-математических наук, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

**Толстов Александр Васильевич**, заслуженный геолог Российской Федерации, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Акционерная компания АЛРОСА (ПАО), Республика Саха (Якутия), г. Мирный, Россия

**Фридовский Валерий Юрьевич**, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН, г. Якутск, Россия

**Серов Сергей Геннадьевич**, ответственный секретарь, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

**Иностранцы члены редакционной коллегии**

**Амро Мухамед Муса**, PhD, директор Института бурения и добычи, Технический университет «Горная академия Фрайберг», г. Фрайберг, Германия

**Баосун Ма**, PhD, профессор, профессор и руководитель аспирантов, Университет Сунь Ятсена, г. Гуанчжоу, Китай  
**Вердоа Массимо**, PhD, профессор, Университет Генуи, г. Генуя, Италия

**Гулиев Ибрагим Саид оглы**, академик НАН Азербайджана, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Национальная академия наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

**Етирмишли Гурбан Джалал оглы**, член-корреспондент НАН Азербайджана, доктор геолого-минералогических наук, генеральный директор Республиканского центра сейсмологической службы, Национальная академия наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

**Фулун Нин**, PhD, профессор, профессор и руководитель аспирантов Национального центра международных совместных исследований по глубокому бурению и разработке месторождений полезных ископаемых, Китайский геологоразведочный университет, г. Ухань, Китай

**Хуанг Шаопенг**, PhD, профессор, Сианьский университет Цзяотун, г. Сиань, Китай; Шэньчжэньский университет, г. Шэньчжэнь, Китай; приглашенный научный сотрудник, Университет Мичигана, г. Энн-Арбор, США

**Шестопалов Юрий Викторович**, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра электроники, математики и естественных наук, Университет Евле, г. Евле, Швеция

**Эпельбаум Лев Виленович**, Dr. Sci. (Geophys.), профессор кафедры геофизики, Тель-Авивский университет, г. Тель-Авив, Израиль

#### Редакционный совет

##### Председатель редакционного совета

**Панов Юрий Петрович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ректор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

##### Члены редакционного совета

**Гусев Павел Николаевич**, главный редактор, газета «Московский комсомолец», г. Москва, Россия (по согласованию)

**Игнатов Пётр Алексеевич**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

**Машковцев Григорий Анатольевич**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского, г. Москва, Россия (по согласованию)

**Мустаев Рустам Наильевич**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

**Назарова Зинаида Михайловна**, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, доктор экономических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

**Трубецкой Климент Николаевич**, академик РАН, доктор технических наук, профессор, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Россия

История издания журнала	Издается с января 1958 г.
Периодичность	4 раза в год
Префикс DOI	<a href="https://doi.org/10.32454/">https://doi.org/10.32454/</a>
ISSN print	0016-7762
ISSN online	2618-8708
Свидетельство о регистрации средства массовой информации	ПИ №ФС77-59165 от 18.09.2014 г. (Роскомнадзор)
Учредитель и издатель	ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
Редакция	ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», Серов Сергей Геннадьевич (ответственный секретарь) 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия +7 (495) 255-15-10, доб. 2289 <a href="https://www.geology-mgri.ru">https://www.geology-mgri.ru</a> E-mail: <a href="mailto:journal-geology@mgri.ru">journal-geology@mgri.ru</a>
Тираж	100 экз.
Дата выхода в свет	30.06.2025
Типография	Отпечатано в ООО «Издательство «Триада»: 9, оф. 514, Чайковского пр., г. Тверь 170034, Россия
Копирайт	© Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2024
Стоимость одного выпуска	Свободная цена
Условия распространения материалов	Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License
Индексация	Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по пяти научным специальностям: 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение (геолого-минералогические науки); 1.6.9. Геофизика (технические науки); 1.6.10. Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения (геолого-минералогические науки); 1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (геолого-минералогические науки); 2.8.3. Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр (геолого-минералогические науки). РИНЦ, DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat. Включен в Ulrich's Periodicals Directory.

## FOCUS AND SCOPE

*Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration* publishes original scientific articles presenting significant results of theoretical and experimental studies carried out by researchers from universities, research institutions and exploration companies, as well as by independent investigators. The Journal publishes review articles on topical issues of geological science and mineral resource exploration practice, along with the materials of such scientific events as conferences, workshops and roundtables. The Journal is also aimed at promoting advanced industrial experience.

During more than 60 years of its existence the Journal *Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration* has established itself as one of the leading and reputable scientific periodicals of the country in the field of Earth sciences. The Journal effectively participates in solving of scientific and technical problems, promoting the latest progresses and strengthens the authority of university and industry research in geology. It helps to improve the preparation of highly qualified engineers, scientists and teachers.

### Editor-in-Chief

**Vagif Y. Kerimov**, Honored Geologist of the Russian Federation, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

### Deputy Editors-in-Chief

**Nikolay B. Kuznetsov**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Deputy Director for research, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Yuri A. Popov**, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russia

### Editorial Board

**Viktor K. Garanin**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Fersman Mineralogical Museum, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Dmitry S. Drozdov**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Researcher, Institute of the Earth Cryosphere of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

**Andrey V. Dronov**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Scientist, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Margarita N. Ignatyeva**, Dr. Sci. (Economics), Prof., Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

**Mikhail G. Leonov**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Scientist, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Andrey V. Maslov**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

**Yuriy B. Marin**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Saint-Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

**Vladislav A. Petrov**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Director, Institute of Geology of ore deposits, petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Pavel Yu. Plechov**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, Fersman Mineralogical Museum, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Alexander V. Samsonov**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Konstantin Zh. Seminsky**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

**Sergey A. Tikhotskiy**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Director, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Alexander V. Tolstov**, Honored Geologist of the Russian Federation, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., ALROSA Public Joint Stock Company, Mirny, Yakutia, Russia

**Valeriy Yu. Fridovsky**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, Diamond and Precious Metal Geology Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

**Sergey G. Serov**, executive secretary, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

### Foreign members of the Editorial Board

**Moh'd M. Amro**, PhD, Director of Institute of Drilling Technology and Fluid Mining, Technical University Bergakemie Freiberg, Freiberg, Germany

**Ma Baosong**, PhD, Prof., research supervisor of doctoral students, Sun YatSen University, Guangzhou, China

**Massimo Verdoya**, PhD, Prof., Università degli Studi di Genova, Genoa, Italy

**Ibrahim S. Guliev**, Academician of the NAS of Azerbaijan, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

**Gurban J. Yetirmishli**, Corresponding Member of Azerbaijan National Academy of Sciences (ANAS), Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), General director of Republican Seismic Survey Center of ANAS head of seismology division, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

**Ning Fulong**, PhD, Prof., research supervisor of doctoral students at the National Center for International Research on Deep Earth Drilling and Resource Development, China University of Geosciences, Wuhan, China

**Shaopeng Huang**, PhD, Prof., Shenzhen University, Institute of Deep Earth Sciences and Green Energy, Shenzhen, China; Adjunct Research Scientist, Department of Earth and Environmental, University of Michigan, Ann Arbor, USA

**Yury V. Shestopalov**, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Department of Electronics, Mathematics and Natural Sciences, University of Gävle, Gävle, Sweden

**Lev V. Eppelbaum**, Dr. Sci. (Geophys.), Prof., Department of Geophysics, Tel Aviv University, Tel-Aviv, Israel

#### Editorial Council

##### Chairman of the Editorial Council

**Yuri P. Panov**, Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher, Rector, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

##### Members of the Editorial Council

**Pavel N. Gusev**, Editor-in-Chief, Moskovskii Komsomolets newspaper, Moscow, Russia

**Petr A. Ignatov**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

**Grigoriy A. Mashkovtsev**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, All-Russian Scientific Research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky, Moscow, Russia

**Rustam N. Mustaev**, Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Associate Professor, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

**Zinaida M. Nazarova**, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Dr. Sci. (Economics), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

**Kliment N. Trubetskiy**, Academician of the Russian Academy of Science, Dr. Sci. (Engineering), Prof., Academician N.V. Melnikov Institute of Problems of Integrated Development of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Founded	The journal has been published since January, 1958
Frequency	quarterly
DOI Prefix	<a href="https://doi.org/10.32454/">https://doi.org/10.32454/</a>
ISSN print	0016-7762
ISSN online	2618-8708
Mass Media Registration Certificate	PI No. FS 77-59165 issued 18.09.2014 by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor)
Founder and Publisher	Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
Editorial Office	Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Sergey G. Serov (executive secretary) 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia +7 (495) 255-15-10, ext. 2289 <a href="https://www.geology-mgri.ru">https://www.geology-mgri.ru</a> E-mail: <a href="mailto:journal-geology@mgri.ru">journal-geology@mgri.ru</a>
Circulation	100 copies
Publication date	30.06.2025
Printing House	"Triada" publishing house: 9, Tchaikovsky Ave, office 514, Tver 170034, Russia
Copyright	© Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration
Price	Flexible
Distribution	The content is distributed under the Creative Common License CC BY
Indexation	The journal is included in the list of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for the degree of Candidate of sciences, for the degree of Doctor of Sciences in five scientific specialties should be published: 1.6.7. Engineering geology, permafrost and soil science (geological and mineralogical sciences); 1.6.9. Geophysics (technical sciences); 1.6.10. Geology, prospecting and exploration of solid minerals, minerogeny (geological and mineralogical sciences); 1.6.11. Geology, prospecting, exploration and exploitation of oil and gas fields (geological and mineralogical sciences); 2.8.3. Mining and oil and gas field geology, geophysics, surveying and subsurface geometry (geological and mineralogical sciences). Russian Science Citation Index (eLIBRARY.RU), DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat, Ulrich's Periodicals Directory.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

---

- 8 МЕХАНИЗМ И ПУТИ МИГРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ В ЮЖНО-КАСПИЙСКОМ БАССЕЙНЕ  
*П.А. РОМАНОВ, У.С. СЕРИКОВА, Е.Д. ЧЕЛЯПИН, А.Д. ПЕРОВ*
- 20 ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗСОДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОЙ НЕФТИ  
В ВОРОБЬЕВСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ В ПРЕДЕЛАХ ЮЖНОГО ПОГРУЖЕНИЯ БУЗУЛУКСКОЙ ВПАДИНЫ  
*Д.Д. МИХАЛЬЧЕНКО, П.Н. СТРАХОВ, Г.Н. ПОТЕМКИН, И.Д. ЛОГИНОВ*
- 32 ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНОГО КОМПЛЕКСА ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ  
В СВЯЗИ С ОЦЕНКОЙ ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ КРЯЖА КАРПИНСКОГО  
*Т. СУЮНБАЕВ*
- 47 ПРОГНОЗ ЭЛЕМЕНТОВ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ  
И СМЕЖНЫХ СТРУКТУР ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ  
*Д.А. ПАВЁЛКИНА, К.А. ГУЗЕЕВА, И.С. АВДЕЕВА, И.С. УСТИНОВ*

### ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

---

- 60 ГРАВИСЕЙСМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЕЁ ПЯТИОКЕАНИЧЕСКАЯ ГЕОСТРОФА  
*А.Ф. ГЛЕБОВ*
- 76 ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ,  
СВЯЗАННЫХ С ВРЕМЕННЫМИ ВАРИАЦИЯМИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ  
*Р.Р. НИГМАТУЛЛИН, А.П. БЕЛОВ, А.М. ЕРОХИН, А.Р. МУХАМЕТЗЯНОВ, В.Н. КОНЕШОВ, М.Н. ДРОБЫШЕВ*

### ГЕОЛОГИЯ

---

- 95 ПЕРВАЯ НАХОДКА ОТПЕЧАТКОВ ФРАГМЕНТОВ СТЕБЛЕЙ МОРСКИХ ЛИЛИЙ  
НА ЭПИТЕКЕ ЧЕТЫРЕХЛУЧЕВЫХ КОРАЛЛОВ  
*В.Н. КОМАРОВ, Я.Д. ГРЕЧИШНИКОВА*
- 100 ИЗМЕНЕНИЯ РОДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ БРАХИОПОД НА ИНТЕРВАЛАХ КРУПНЕЙШИХ  
МАССОВЫХ ВЫМИРАНИЙ ФАНЕРОЗОЯ  
*Д.А. РУБАН*
- 111 ВЛИЯНИЕ АФРИКАНСКОГО СУПЕРПЛУМА НА УСЛОВИЯ ГЕНЕРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ  
В РИФТОГЕННЫХ БАССЕЙНАХ ПОЗДНЕГО ФАНЕРОЗОЯ  
*В.М. УСОВА*

### ГЕОЭКОЛОГИЯ

---

- 118 ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ РИСКОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ  
РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ВЯЗЕМСКОГО РАЙОНА  
СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ  
*С.П. ЯКУЦЕНИ*

### ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

---

- 134 ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОМОНИТОРНЫХ ШАРОШЕЧНЫХ ДОЛОТ ПРИ БУРЕНИИ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН  
*Р.С. ИБРАГИМОВ, Ш.О. БАХШАЛИЕВА, П.В. СУЛЕЙМАНОВА*

### ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

---

- 141 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАСТИ ФИЛЬТРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПРЕРЫВИСТОГО ВОДООТБОРА  
*И.А. ШАРОВ, Н.В. ФИСУН*

### ЮБИЛЕЙ

---

- 149 КАРАУЛОВ ВАСИЛИЙ БОРИСОВИЧ (К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)
- 150 ЧЕРЕПАНСКИЙ МИХАИЛ МИХАЙЛОВИЧ (К 75-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

**GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES**

- 8** **MECHANISMS AND MIGRATION ROUTES OF HYDROCARBONS IN THE SOUTH CASPIAN BASIN**  
*PAVEL A. ROMANOV, ULYANA S. SERIKOVA, EGOR D. CHELYAPIN, ARTEMY D. PEROV*
- 20** **DISTRIBUTION PATTERNS OF GAS CONTENT IN VOROBYOV DEPOSITS WITHIN THE SOUTHERN DIP OF THE BUZULUK DEPRESSION**  
*DANIIL D. MIKHALCHENKO, PAVEL N. STRAKHOV, GRIGORIY N. POTEKIN, ILIYA D. LOGINOV*
- 32** **EVOLUTIONARY FEATURES OF THE TRANSITIONAL COMPLEX IN EASTERN CISCAUCASIA REGARDING THE HYDROCARBON PROSPECTS OF THE KARPINSKY RIDGE**  
*TEMIRBOLAT SUYUNBAYEV*
- 47** **FORECAST OF ELEMENTS OF PETROLEUM SYSTEMS IN THE JOINT ZONE OF THE SIBERIAN PLATFORM AND ADJACENT STRUCTURES IN THE SOUTHWESTERN PART OF THE LAPTEV SEA**  
*DIANA A. PAVELKINA, KRISTINA A. GUZEYEVA, INNA S. AVDEEVA, ILYA S. USTINOV*

**GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION**

- 60** **GRAVISEISMIC STRUCTURE OF THE EARTH'S CRUST AND ITS FIVE-OCEANIC GEOSTROPHE**  
*ALEXEY F. GLEBOV*
- 76** **CONSTRUCTION AND ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS DESCRIBING TEMPORAL VARIATIONS OF EARTH'S GRAVITY FIELD**  
*RAOUL R. NIGMATULLIN, ALEXEY P. BELOV, ALEXANDR M. EROKHIN, AMIR R. MUKHAMETZYANOV, VYACHESLAV N. KONESHOV, MIKHAIL N. DROBYSHEV*

**GEOLOGY**

- 95** **DISCOVERY OF CRINOID STEM FRAGMENT IMPRINTS ON THE EPITHECA OF RUGOSE CORALS**  
*VLADIMIR N. KOMAROV, YANA D. GRECHISHNIKOVA*
- 100** **CHANGES IN THE GENERIC DIVERSITY OF BRACHIOPODS AT THE INTERVALS OF THE LARGEST PHANEROZOIC MASS EXTINCTIONS**  
*DMITRY A. RUBAN*
- 111** **INFLUENCE OF THE AFRICAN SUPERPLUME ON HYDROCARBON GENERATION CONDITIONS IN RIFT-TYPE BASINS OF THE LATE PHANEROZOIC**  
*VALENTINA M. USOVA*

**GEOECOLOGY**

- 118** **GEOECOLOGICAL AND SOCIAL RISKS ASSOCIATED WITH INDUSTRIAL AND MUNICIPAL SOLID WASTE DISPOSAL FACILITIES IN VYAZEMSKY DISTRICT OF SMOLENSK OBLAST (RUSSIA)**  
*SERGEY P. YAKUTSENI*

**GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE**

- 134** **USE OF HYDROMONITOR ROLLER BITS FOR DRILLING BLAST BOREHOLES**  
*RAFIQ S. IBRAHIMOV, SHIRIN O. BAHSHALIEVA, PARVANA V. SULEYMANOVA*

**HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY**

- 141** **DETERMINATION OF FILTRATION AREA PARAMETERS UNDER CONDITIONS OF INTERMITTENT WATER WITHDRAWAL**  
*IVAN A. SHAROV, NATALIA V. FISUN*

**ANNIVERSARY**

- 149** **KARAULOV VASILY BORISOVICH (ON HIS 90th ANNIVERSARY)**
- 150** **CHERPANSKY MIKHAIL MIKHAILOVICH (ON HIS 75th ANNIVERSARY)**



## МЕХАНИЗМ И ПУТИ МИГРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ В ЮЖНО-КАСПИЙСКОМ БАССЕЙНЕ

П.А. РОМАНОВ\*, У.С. СЕРИКОВА, Е.Д. ЧЕЛЯПИН, А.Д. ПЕРОВ

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Рассматриваются механизмы и пути миграции углеводородов в Южно-Каспийском бассейне (ЮКБ).

**Цель.** Оценка путей миграции углеводородов в Южно-Каспийском бассейне.

**Материалы и методы.** Статистическое обобщение и систематизация данных и материалов, частично заимствованных из справочной литературы, фондовых источников, промысловых данных и опубликованных работ.

**Результаты.** В результате проведенного численного моделирования углеводородных систем в Южно-Каспийском нефтегазоносном бассейне определены механизмы миграции углеводородов в ЮКБ: грязевые вулканы, эруптивные каналы которых служат каналами миграции углеводородов (УВ), а также трещины растяжения, созданные процессом формирования диапировых структур. Практически все месторождения ЮКБ расположены на площадях развития грязевого вулканизма и осложнены их эруптивными каналами, что свидетельствует о заполнении резервуаров продуктивной толщи за счет вертикальной миграции углеводородов.

**Заключение.** Результаты моделирования свидетельствуют, что критический момент и эмиграция УВ из эоценовой, майкопской и диатомовой нефтегазоматеринской толщи (НГМТ) наступает к концу сураханского времени (3 млн лет назад), то есть во время формирования верхнего отдела продуктивной толщи. В НГМТ тархан-чокракского возраста критический момент был преодолен только к концу ачкагыльского времени (2,2 млн лет назад).

**Ключевые слова:** Южно-Каспийский, нефтегазоносный бассейн, моделирование, углеводородные системы, миграция, аккумуляция

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Романов П.А., Серикова У.С., Челяпин Е.Д., Перов А.Д. Механизм и пути миграции углеводородов в Южно-Каспийском бассейне. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2025;67(2):8—19. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-8-19> EDN: [DMYSQL](#)

Статья поступила в редакцию 03.05.2025

Принята к публикации 19.05.2025

Опубликована 30.06.2025

\* Автор, ответственный за переписку

# MECHANISMS AND MIGRATION ROUTES OF HYDROCARBONS IN THE SOUTH CASPIAN BASIN

PAVEL A. ROMANOV\*, ULYANA S. SERIKOVA, EGOR D. CHELYAPIN,  
ARTEMY D. PEROV

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

## ABSTRACT

**Background.** The mechanisms and routes of hydrocarbon migration in the South Caspian basin are considered.

**Aim.** Assessment of hydrocarbon migration routes in the South Caspian basin.

**Materials and methods.** Statistical generalization and classification of data and materials from reference literature, geological reports, field data, and published works.

**Results.** The conducted numerical modeling of hydrocarbon systems in the South Caspian oil and gas basin allowed the mechanisms of hydrocarbon migration in this region to be determined. These included mud volcanoes, whose eruptive channels served as those for hydrocarbon migration, as well as stretching cracks created by the formation of diapiric structures. Almost all deposits in the South Caspian basin are located in the areas of mud volcanism and are complicated by their eruptive channels.

**Conclusion.** This indicates the role of vertical migration of hydrocarbons in filling the reservoirs of the productive stratum. The modeling results show that the critical moment and migration of hydrocarbons from the Eocene, Maikop, and Diatom oil and gas source strata occurred towards the end of the Surakhani time (3 million years ago), i.e., during the formation of the upper section of the productive stratum. In the oil and gas source stratum of the Tarkhan-Chokrak age, the critical moment completed only by the end of the Akchagyl time (2.2 million years ago).

**Keywords:** South Caspian, oil and gas basin, modeling, hydrocarbon systems, migration, accumulation

**Conflict of interest:** the authors declare that there is no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Romanov P.A., Serikova U.S., Chelyapin E.D., Perov A.D. Mechanisms and migration routes of hydrocarbons in the South Caspian basin. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(2):8—19. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-8-19> EDN: [DMYSQL](https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-8-19)

*Manuscript received 03 May 2025*

*Accepted 19 May 2025*

*Published 30 June 2025*

\* Corresponding author

Известно, что в природе могут действовать несколько механизмов первичной миграции нефти. Причем передвижение углеводородов может происходить с разными скоростями и зависеть не только от строения углеводородов, но и от минерального состава вмещающих их пород [1]. По мере углубления знаний о миграционных процессах постепенно сформировались основные направления исследований первичной миграции УВ: в газорастворенном, водорастворенном и в свободном состояниях. Эмиграция углеводородов никогда

не начинается с начала формирования материнской породы [2]. Можно выделить следующие основные механизмы миграции УВ: под воздействием градиента давления и под воздействием плавучести: Состав жидкости: разница плотностей углеводородов и воды.

## Методика исследований

Существует множество методов компьютерного моделирования бассейнов, из которых можно выделить три основных понятия:

**Darcy Flow** — на основе уравнений потока через пористую среду (закон Дарси). Закон Дарси позволяет описывать движение многокомпонентного трехфазного флюида с учетом проницаемости пород и капиллярного давления. Скорости миграции и насыщение резервуара углеводородами рассчитывается в одной процедуре. Специальные алгоритмы используются для описания возможных потерь через покрывку и миграции вдоль разломов. Эффекты диффузии могут учитываться для учета транспорта газобразных углеводородов в водной фазе.

**Flowpath** — геометрический анализ поверхности (миграция с плавучестью). «Flowpath» применяется для описания латеральной миграции углеводородов. В результате может быть получена информация о площадях дренирования, составе и количестве скоплений УВ. «Flowpath» в комбинации с «Дарси» (для областей с низкой проницаемостью) называется гибридной методикой.

**Invasion percolation (Перколяция)** — поток контролируется только капиллярными силами. В основе «Invasion percolation» лежит допущение, что в геологических временных масштабах углеводороды мигрируют мгновенно под влиянием всплывания и капиллярного давления. «Invasion percolation» хорошо подходит для моделирования миграции флюида через зоны разломов. Метод особенно эффективен для моделирования однофазного флюида, состоящего всего из нескольких компонентов.

Комбинация методов — комбинация различных методов требует введения пороговых значений, позволяющих программе решать, когда используется конкретный метод, преимущества каждого метода могут быть объединены во время эффективного и точного моделирования процессов миграции и аккумуляции.

#### Результаты исследований

##### *Миграция УВ в Южно-Каспийском бассейне*

Результаты моделирования процессов миграция УВ в Южно-Каспийском бассейне показывают, что этот процесс тесно связан с грязевыми вулканами [4-8]. В Южно-Каспийской бассейне и в его прибрежных зонах на суше — в Апшероно-Гобустанском периклинальном и Нижнекуринском прогибах есть около 100 крупных, имеющих в основном конусовидную форму, грязевых вулканов [2,3]. В морской акватории встречаются грязевые вулканы с большими размерами. К примеру, грязевой вулкан Шарг, приуроченный

к валу Ататюрк, имеет длину более 100 км и ширину ~7 км.

Около 50% грязевых вулканов выделяют исключительно палеоген-нижнемиоценовые нефти. В 17% грязевых вулканов характерными являются нефти преимущественно из диатомового комплекса отложений, а в 33% отмечается смесь, состоящая из примерно одинакового долевого участия нефтей из палеоген-нижнемиоценового и диатомового комплексов. Корни грязевых вулканов расположены на глубине 10—12 км, что совпадает с зонами активной флюидогенерации [10—18]. При этом данные сейсморазведки показывают, что они погребены на глубины не более 10—12 км.

Заслуживает внимания закономерное пространственное расположение грязевулканических нефтепроявлений, согласно которому объекты с преимущественно диатомовой составляющей в нефтях обособляются в крайне отдаленной северо-западной части ЮКБ, зоне сопряжения Нижнекуринского и Шамахи-Гобустанского прогибов. В тектоническом отношении границей этих структур является глубинный Аджичай-Алятский разлом, по которому палеоген-нижнемиоценовые отложения юго-западного борта Шамахи-Гобустанской тектонической ступени надвинуты на средне-верхнемиоценовые и плиоценовый комплексы северо-восточной части Нижнекуринской ступени.

Идентичность изотопного состава углерода нефтей в надвинутой пластине и перекрытой ступени указывает на то, что питающий грязевые вулканы нефтяной очаг находится в пределах главным образом диатомового комплекса Нижнекуринской впадины. Данный вывод находит свое подтверждение и в одинаковой наиболее низкой степени зрелости нефтей этой группы грязевулканических проявлений и нефтей северной части Нижнекуринской впадины (Каламадын, Малый Харамы).

Таким образом, грязевые вулканы в ЮКБ является основным механизмом миграции углеводородов. Каналами миграции служат эруптивные каналы грязевых вулканов и трещины растяжения, созданные процессом формирования диапировых структур [9, 21—24]. Если принять во внимание, что практически все месторождения, расположенные на территории развития грязевого вулканизма, осложнены эруптивными каналами грязевых вулканов, то механизм заполнения резервуаров продуктивной толщи за счет вертикальной миграции углеводородов

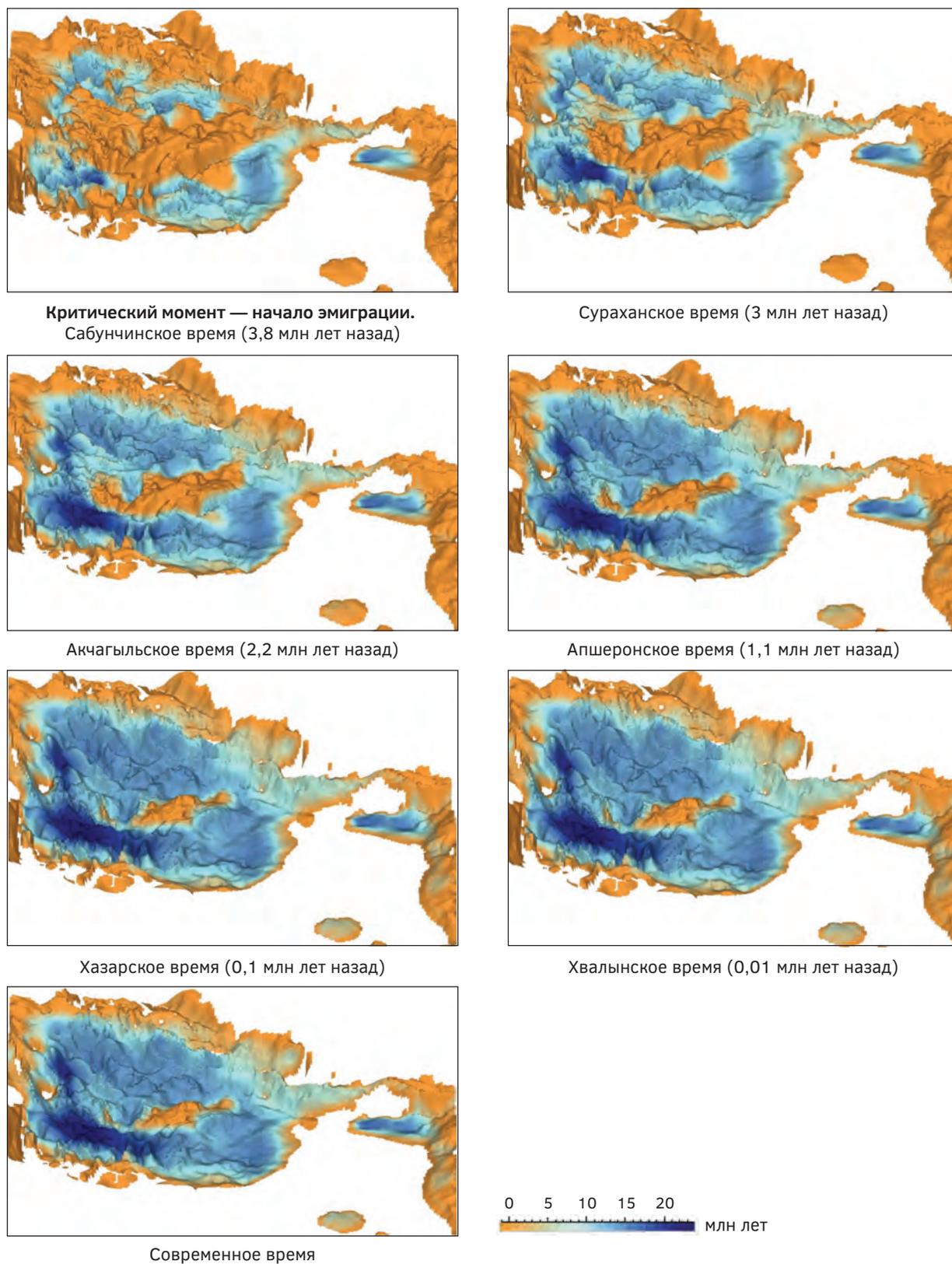


Рис. 1. Трехмерные модели эмиграции УВ из эоценовой НГМТ  
Fig. 1. Three-dimensional models of hydrocarbon emigration from the Eocene PSR

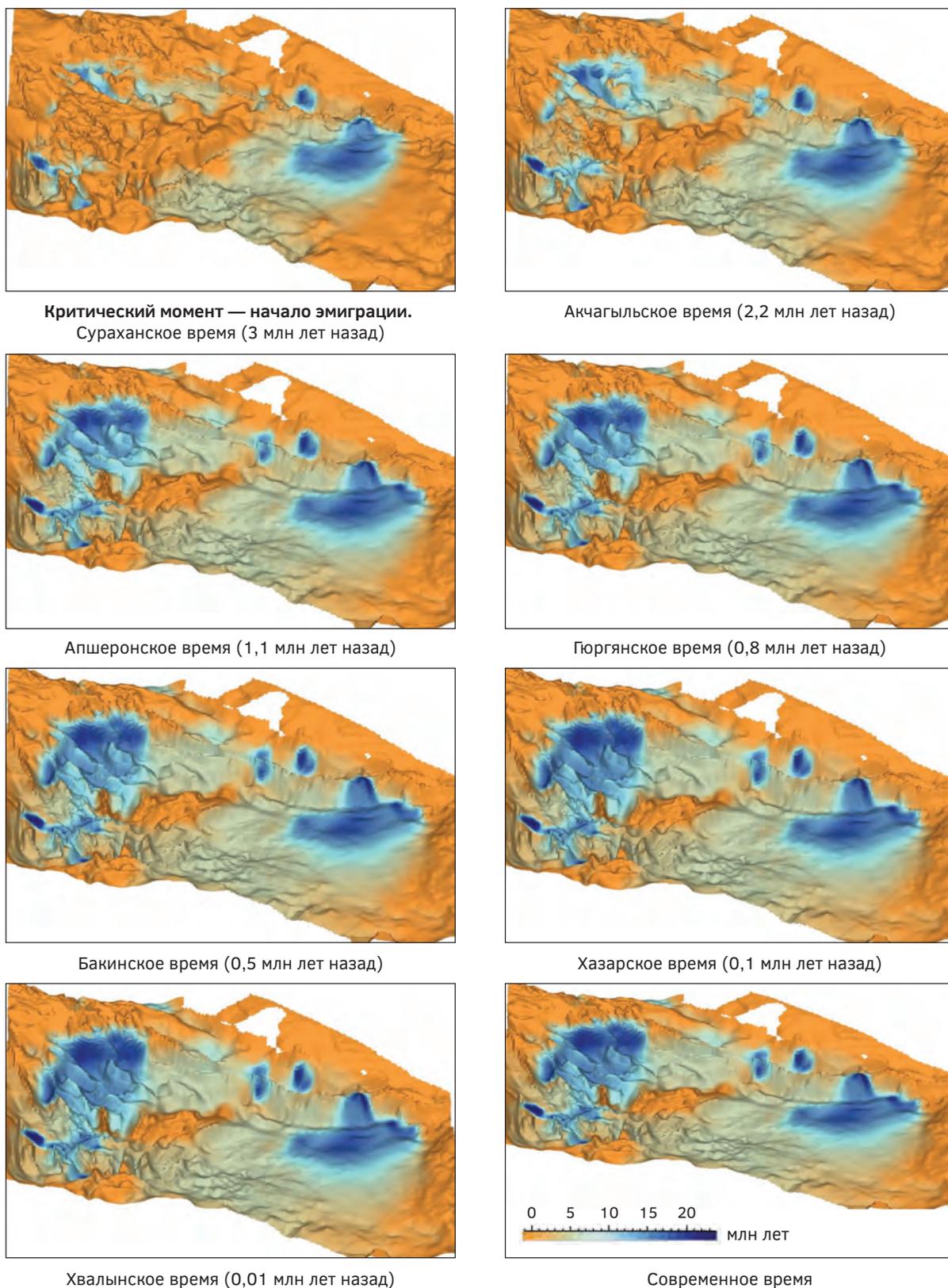


Рис. 2. Трехмерные модели эмиграции УВ из майкопской НГМТ

Fig. 2. Three-dimensional models of hydrocarbon emigration from the Maykop PSR

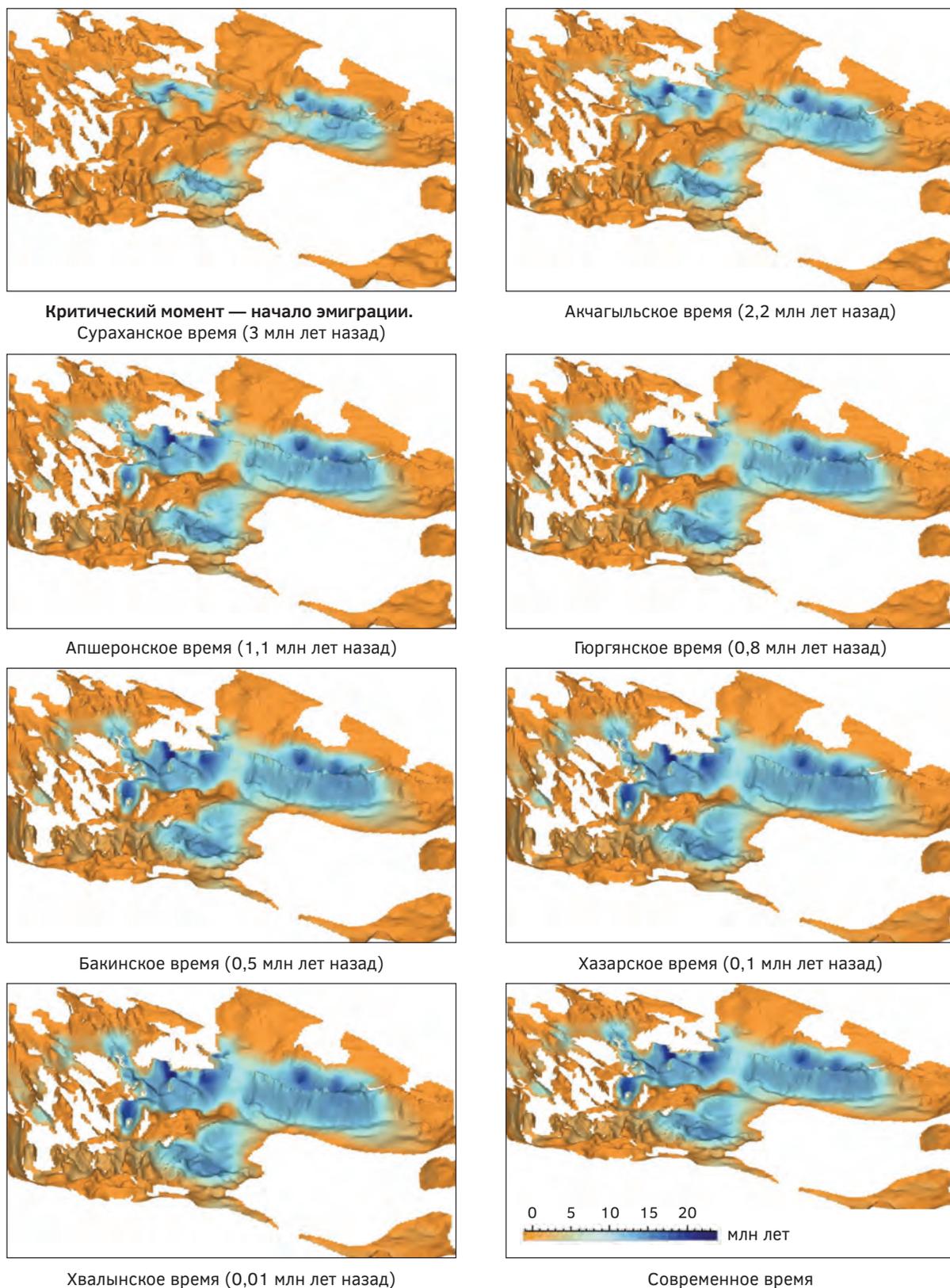


Рис. 3. Трехмерные модели эмиграции УВ из диатомовой НГМТ

Fig. 3. Three-dimensional models of hydrocarbon emigration from diatomaceous PSR

доказывается весьма убедительно [19, 20, 26—32, 38—41]. Эти резервуары подпитываются главным образом за счет миграции углеводородов из прилегающих к эруптивным каналам грязевых вулканов. Такое свойство углеводородных систем Южно-Каспийского бассейна обеспечивает восполнение углеводородами разрабатываемых за более чем вековой период месторождений, находящихся в зоне развития грязевого вулканизма [25, 33—37].

Начало эмиграции УВ из нефтегазоматеринских толщ в резервуары начинается с началом критического момента — периода генерационного процесса, в течение которого сгенерировано около 50 % углеводородов, и началом эмиграции. Результаты моделирования свидетельствуют, что критический момент и эмиграция УВ из эоценовой НГМТ (рис. 1) наступает к концу сабунчинского времени (3.8 млн лет назад), а для майкопской (рис. 2) и диатомовой (рис. 3) НГМТ наступает к концу сураханского времени (3 млн лет назад), то есть во время формирования верхнего отдела ПТ. В НГМТ тархан-чокракского возраста критический момент был преодолен только к концу акчагыльского времени (2,2 млн лет назад).

### Заключение

Основным механизмом миграции углеводородов в ЮКБ являются грязевые вулканы, эруптивные каналы которых служат каналами миграции УВ. Миграционные процессы также обеспечиваются сетью трещин растяжения, созданных процессом формирования диапировых структур. Практически все месторождения ЮКБ расположены на площадях развития грязевого вулканизма и осложнены их эруптивными каналами, что свидетельствует о заполнении резервуаров продуктивной толщи за счет вертикальной миграции углеводородов. Такое свойство углеводородных систем Южно-Каспийского бассейна обеспечивает восполнение углеводородами разрабатываемых за более чем вековой период месторождений, находящихся в зоне развития грязевого вулканизма.

В результате моделирования углеводородных систем (ЮКБ) создались уникальные условия для эволюции и распространения (ГАУС). В результате проведенного анализа и численного моделирования углеводородных систем в Южно-Каспийском бассейне были выделены три классические генерационно-аккумуляционные углеводородные системы: эоцен-плиоценовая, майкоп-плиоценовая и миоцен-плиоценовая.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Абдуллаев Н.* Новый взгляд на структуру земной коры на суше и на шельфе Азербайджана, Южно-Каспийский бассейн (Абдуллаев Н., Кадыров Ф., Гулиев И., Гусейнова С., Джавадова А., Магеррамов Б., Мухтаров А.А.), 85-я ежегодная конференция и выставка EAGE (включая программу семинара), 2024, т. 1, стр. 1—5.
2. *Абрамс А.М., Нариманов А.А.* Геохимическая оценка углеводородов и их потенциальных источников в западной части Южно-Каспийской впадины, Республика Азербайджан. Морская и нефтяная геология, 1997, 14, стр. 451—468.
3. *Агаева В., Заксенхофер Р.Ф., ван Баак К.Г.К., Бехтель А., Хойл Т.М., Селби Д., Шиянова Н., Винсент С.Дж.* Новые геохимические представления о кайнозойских материнских породах Азербайджана: последствия для нефтяных систем в регионе Южного Каспия. Журнал нефтяной геологии, т. 44, № 3, 2021, стр. 349—384.
4. *Ализаде А.А., Гулиев И.С., Мамедов П.З.* Продуктивные пласты Азербайджана. В 2-х томах. Москва. ООО «Издательский дом Недра», 2018, Т. 1 — 305 с. Т. 2 — 236 с.
5. *Аникиев К.А., Броницкий А.В., Талиев С.Д.* Аномально-высокие пластовые давления на нефтяных и газовых месторождениях Восточного Предкавказья: Обзор ВИЭМС. — М.: Вып. 16 (5), 1965, 67 с.
6. Атлас нефтегазоносных и перспективных структур Каспийского моря. Пояснительная записка. (Гасанов И.С., Юсуфзаде Х.Б., Гаджиев Т.Г.). Мингазпром СССР, Юг-ВНИИГеофизики; Мингазпром СССР, ВМНПО Союзморгео. Л-д, ВСЕГЕИ, 1989, 66 с.
7. Атлас палеогеографических карт: Евразийские шельфы в мезозое и кайнозое. Ред. М.Н. Алексева. Том 1, Текст 9.1—9.37; Том 2. Карты. ГИН АН СССР, Robertson Group, 1992.
8. *Афанасенков А.П.* Геологическая история и нефтяные системы Северного Каспия (Афанасенков А.П., Скворцов М.Б., Никишин А.М., Мурзин Ш.М., Поляков А.А.) Вестник Московского университета. Сер. 4, Геология № 3, 2008, стр. 3—10.
9. *Ахмедов Г.А., Салаев С.Г., Исмаилов К.А.* Перспективы поисков нефти и газа в мезозойских отложениях Юго-Восточного Кавказа. — Баку: Азернешр, 1961, 283 с.
10. *Ахундов А.Р.* Изменение минерализации и солевого состава пластовых вод V и смежных IV и VI горизонтов Балаханы-Сабунчи-Раманинского месторождения. Известия АН Азерб. ССР. Сер. геолого-географические науки и нефть, 1957, № 11.
11. *Ахундов А.Р., Мехтиев У.Ш., Рачинский М.З.*

- Справочник по подземным водам нефтегазовых и газоконденсатных месторождений Азербайджана. — Баку: Маариф, 1976.
12. Багир-Заде Ф.М., Нариманов А.А., Бабаев Ф.Р. Геолого-геохимические особенности месторождений Каспийского моря. М., Недра, 1988, 208 с.
  13. Берлин Ю.М., Марина М.М. Нефтегазообразование в основных потенциально нефтематеринских отложениях мезозойско-кайнозойских осадочных толщ Среднего Каспия. В кн.: Геология и полезные ископаемые шельфов России. Ред. М.Н. Алексева. М. ГЕОС, 2002, с. 161—164.
  14. Богоявленский В.И., Керимов В.Ю., Ольховская О.О. Цитаты Статья Опасные газонасыщенные объекты в мировом океане: Охотское море // Нефтяное хозяйство, 2016, (11), с. 43—47.
  15. Геотемпературное поле Южно-Каспийского бассейна / В.Ю. Керимов, М.З. Рачинский, С.М. Карнаухов, Р.Н. Мустаев // Отечественная геология. — 2012. — № 3. — С. 18—24. — EDN OYBTLF.
  16. Гируц М.В., Гордадзе Г.Н. Получение алмазаноидов и алмазаноидов термическим крекингом полярных компонентов нефтей разных генотипов. Нефтехимия. 47, 2007, стр. 12—22.
  17. Керимов В.Ю. Палеогеографические условия формирования Южно-Каспийской впадины в плиоценовую эпоху в связи с ее нефтегазоносностью / В. Ю. Керимов, Э. А. Халилов, Н. Ю. Мехтиев // Геология нефти и газа. — 1992. — № 10. — С. 5—8. — EDN ZIOCMD.
  18. Керимов В.Ю. Стратегия и тактика освоения углеводородных ресурсов на шельфе РФ / В. Ю. Керимов, Г. Я. Шилов, У. С. Серикова // Нефть, газ и бизнес. — 2014. — № 7. — С. 28—34. — EDN SIMXRL.
  19. Керимов В.Ю. Тектоника северного Каспия и перспективы нефтегазоносности / В. Ю. Керимов, Б. М. Авербух, В. С. Мильничук // Советская геология. — 1990. — № 7. — С. 23—30. — EDN ZIOCDR.
  20. Перспективы нефтегазоносности п-ова Крым и западного побережья Азовского моря / В.Ю. Керимов, Е.А. Лавренова, М.В. Круглякова, А.А. Горбунов // Нефтяное хозяйство. — 2014. — № 9. — С. 66-70. — EDN SNJIVZ.
  21. Фейзуллаев А.А., Гусейнов Д.А., Рашидов Т.М. Изотопный состав продуктов деятельности грязевых вулканов Южно-Каспийского бассейна в связи с перспективами нефтегазоносности глубоководных отложений // Труды НАНА. Науки о Земле, № 1, 2022, с. 68-80.
  22. Goodwin N., Abdullayev N., Javadova A., Volk H., Riley G. Diamondoids and basin modeling reveal one of the world's deepest petroleum systems, South Caspian basin, Azerbaijan. Journal of Petroleum Geology, Vol. 43, No. 2, 2020, pp. 133—150.
  23. Gordadze G., Kerimov V., Giruts M., Poshibaeva A., Koshelev V. Genesis of the asphaltite of the Ivanovskoe field in the Orenburg region Russia // Fuel, 2018, 216, pp. 835—842.
  24. Gordadze G.N., Kerimov V.Y., Gaiduk A.V., ... Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V. Article Hydrocarbon biomarkers and diamondoid hydrocarbons from late Precambrian and lower Cambrian rocks of the Katanga saddle (Siberian Platform) // Geochemistry International, 2017, 55(4), pp. 360—366.
  25. Guliyev I.S., Klyatsko N.V., Mamedov S.A., Suleimanova S.V. Oil-producing and reservoir properties of the South Caspian Basin sediments. Lithology and useful minerals, № 2, 1992, pp. 110—120.
  26. Hamid A.K. Lahijani, Peygham Ghaffari, Suzanne A.G. Leroy, Abdolmajid Naderi Beni, Evgeniy V. Yakushev, Behrooz Abtahi, Abolfazl Saleh, Milad Behraves. A note on the silent decline of the Caspian environment // Marine Pollution Bulletin, 2024. Vol. 205, pp. 116—151.
  27. Javad B.M. Impact of physical process on propagating oil spills in the Caspian Sea // Marine Pollution Bulletin. 2021. Vol. 165, pp. 112—147.
  28. Javadova A.S. Petroleum source rock characterization and hydrocarbon generation, Baku archipelago, South Caspian basin, Azerbaijan. Transactions, Earth Sciences № 1. 2021, pp. 29—42.
  29. Jing Ziyang, Li Guobin, Zhang Yajun, Xie Tianfeng, Feng Yuan, Zhao Binbin, Wang Hongbin, Dai Shuang, Yang Zhaoping, Yuan Xiaoyu, Shi Zhongsheng, Tian Xin. Salt diapirism in the eastern margin of the Pre-Caspian Basin: Insight from physical experiments, // Journal of Geodynamics. 2022. Vol. 153 — 154, pp. 101—140.
  30. Kerimov K.M., Novruzov A.K., Daneshvar S.N. Deep faults and some features of oil and gas fields in the South Caspian megadepression. Vesti Baku University, No. 3, 2012, pp. 69—78.
  31. Kerimov V.Yu., Guliyev I.S., Javadova A.S., Kadirov F.A., Mustaeв P.N., Gurbanov V.Sh., Huseynova Sh.M. Characteristics of source rocks and features of petroleum systems of the South Caspian basin. ANAS Transactions, Earth Sciences, № 1, 2024, pp. 77—92.
  32. Kerimov V.Yu., Guliyev I.S., Javadova A.S., Mustaeв R.N., Gurbanov V.Sh., Huseynova Sh.M. Shale oil and gas systems of the South Caspian Depression. ANAS Transactions, Earth Sciences, № 2, 2024, pp. 123—140.
  33. Kerimov V.Yu., Osipov A.V., Mustaeв R.N., Minligaliev L.I., Huseynov D.A. Conditions of formation and development of the void space at great depths // Neftyanoe Khozyaystvo — Oil Industry, № 4, 2019, pp. 22—27.
  34. Kerimov V.Yu., Mustaeв R.N., Etirmishli G.D., Yusubov N.P. Influence of modern geodynamics on the structure and tectonics of the Black Sea-Caspian region // Eurasian Mining, 35(1), 2021, pp. 3—8.
  35. Leroy S.A.G., Reimer P.J., Lahijani H.K., Naderi Beni A., Sauer E., Chalié F., Arpe K., Demory F., Mertens K., Belkacem D., Kakroodi A.A., Omrani Rekavandi H., Nokandeh J., Amini A. Caspian Sea levels over the

## ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING OF HYDROCARBON RESERVES

- last 2200 years, with new data from the S-E corner // Geomorphology. 2022. Vol. 403, pp. 108-136.
36. *Mekhtiev Sh.F., Rachinsky M.Z.* On the possible mechanism of formation of oil and gas deposits and on the reasons for the regular change in the properties of oils and waters in the Absheron region of oil and gas formation and oil and gas accumulation. DAN Azerb. SSR. — T. XXIII. — No. 12. 1967.
37. *Mekhtiev Sh.F., Rachinsky M.Z., Kuliev K.G.* On the issue of sulfate ion distribution in groundwater of Pliocene deposits of the Lower Kura depression. News of universities: Oil and Gas, No. 2. 1984.
38. *Michał P.* Legal status of Caspian Sea — problem solved // Marine Policy. 2021. Vol. 123, pp. 104-121.
39. Petroleum Geology Atlas. Caspian Sea Region. Vol. I, II, III (Ed. By Ya. P. Malovitsky, B.V. Senin, F.T. Lysell). PGS Reservoir AS, PA Soyuzmorgeo. Norway, Oslo, 1997.
40. *Yusubov N.P.* On the issue of fault tectonics of depression zones of Azerbaijan based on seismic exploration data. SOCAR Proceedings, No. 3, 2020, pp. 011—017.
41. *Yusubov N.P., Guliyev I.S.* Mud volcanism and hydrocarbon systems of the South Caspian Basin (based on the latest geophysical and geochemical data). Baku, Elm, 2022, 168 p.

### REFERENCES

1. Abdullayev N. New Insight on the Crustal Structure of the Onshore and Offshore Azerbaijan, South Caspian Basin (Abdullayev N, Kadirov F, Guliyev I, Huseynova S, Javadova A, Maharramov B, Mukhtarov A. A), 85th EAGE Annual Conference & Exhibition (including the Workshop Programme), 2024, V.1, pp. 1—5 (In Russ.).
2. Abrams, A. M., & Narimanov, A. A. Geochemical evaluation of hydrocarbons and their potential sources in the western South Caspian depression, Republic of Azerbaijan. Marine and Petroleum Geology, 1997, 14, pp. 451—468 (In Russ.).
3. Aghayeva V., Sachsenhofer R.F., van Baak C.G.C., Bechtel A., Hoyle T.M., Selby D., Shiyanova N., Vincent S.J. New geochemical insights into Cenozoic source rocks in Azerbaijan: implications for petroleum systems in the South Caspian region. Journal of Petroleum Geology, Vol. 44, no. 3, 2021, pp. 349—384 (In Russ.).
4. Alizade A.A., Guliyev I.S., Mamedov P.Z. Productive strata of Azerbaijan. In 2 volumes. Moscow. OOO "Izdatskiy dom Nedra", 2018, Vol. 1 — 305 p. Vol. 2 — 236 p (In Russ.).
5. Anikiev K.A., Bronovitsky A.V., Taliev S.D. Abnormally high formation pressures in oil and gas fields of the Eastern Ciscaucasia: Review of VIEMS. — Moscow: Issue. 16 (5), 1965, 67 p (In Russ.).
6. Atlas of oil and gas bearing and prospective structures of the Caspian Sea. Explanatory note. (Gasanov I.S., Yusufzade H.B., Gadzhiev T.G.). USSR Ministry of Geology, South-VNIIGeofiziki; Ministry of Gazprom of the USSR, VMNPO Soyuzmorgeo. L-d, VSEGEI, 1989, 66 p (In Russ.).
7. Atlas of paleogeographic maps: Eurasian shelves in the Mesozoic and Cenozoic. Ed. M.N. Alekseeva. Volume 1, Text 9.1-9.37; Volume 2. Maps. GIN USSR Academy of Sciences, Robertson Group, 1992 (In Russ.).
8. Afanasenkov A.P. Geological history and oil systems of the Northern Caspian (Afanasenkov A.P., Skvortsov M.B., Nikishin A.M., Murzin Sh.M., Polyakov A.A.) Bulletin of Moscow University. Ser. 4, Geology No. 3, 2008, pp. 3—10 (In Russ.).
9. Akhmedov G.A., Salaev S.G., Ismailov K.A. Prospects for oil and gas exploration in the Mesozoic deposits of the South-East Caucasus. — Baku: Azerneshr, 1961, 283 p (In Russ.).
10. Akhundov A.R. Changes in mineralization and salt composition of formation waters of the V and adjacent IV and VI horizons of the Balakhany-Sabunchu-Ramaninsky field. Izvestiya AN Azerb. SSR. Ser. geological-geographical sciences and oil, 1957, No. 11 (In Russ.).
11. Akhundov A.R., Mekhtiev U.Sh., Rachinsky M.Z. Handbook of groundwater of oil and gas and gas condensate fields of Azerbaijan. — Baku: Maarif, 1976 (In Russ.).
12. Bagir-Zade F.M., Narimanov A.A., Babayev F.R. Geological and geochemical features of Caspian Sea fields. Moscow, Nedra, 1988, 208 p (In Russ.).
13. Berlin Yu.M., Marina M.M. Oil and gas formation in the main potential oil source deposits of the Mesozoic-Cenozoic sedimentary strata of the Middle Caspian region. In: Geology and mineral resources of the shelves of Russia. Ed. M.N. Alekseev. M. GEOS, 2002, pp. 161—164 (In Russ.).
14. Bogoyavlensky V.I., Kerimov V.Yu., Olkhovskaya O.O. Citations Article Dangerous gas-saturated objects in the world ocean: The Sea of Okhotsk // Neftyanoe Khozyaystvo — Oil Industry, 2016, (11), pp. 43—47 (In Russ.).
15. Geotemperature field of the South Caspian basin / V.Yu. Kerimov, M.Z. Rachinsky, S.M. Karnaukhov, R.N. Mustaev // Domestic geology. — 2012. — No. 3. — P. 18—24. — EDN OYBTLF (In Russ.).
16. Giruts, M.V., Gordadze, G.N. Generation of adamantanes and diamantanes by thermal cracking of polar components of crude oils of different genotypes. Pet. Chem. 47, 2007, pp. 12—22 (In Russ.).
17. Kerimov, V. Yu. Paleogeographic conditions of the formation of the South Caspian depression in the Pliocene epoch in connection with its oil and gas potential / V. Yu. Kerimov, E. A. Khalilov, N. Yu. Mekhtiev // Geology of oil and gas. — 1992. — No. 10. — P. 5—8. — EDN ZIOCMD (In Russ.).
18. Kerimov, V. Yu. Strategy and tactics of

- development of hydrocarbon resources on the shelf of the Russian Federation / V.Yu. Kerimov, G.Ya. Shilov, U.S. Serikova // Oil, gas and business. — 2014. — No. 7. — P. 28—34. — EDN SIMXRL. (In Russ.).
19. Kerimov, V. Yu. Tectonics of the Northern Caspian and Oil and Gas Prospects / V.Yu. Kerimov, B.M. Averbukh, V.S. Milnichuk // Soviet Geology. — 1990. — No. 7. — P. 23—30. — EDN ZIOCDR. (In Russ.).
  20. Oil and Gas Prospects of the Crimea Peninsula and the Western Coast of the Azov Sea / V.Yu. Kerimov, E.A. Lavrenova, M.V. Kruglyakova, A.A. Gorbunov // Oil Industry. — 2014. — No. 9. — P. 66—70. — EDN SNJIVZ. (In Russ.).
  21. Feyzullayev A.A., Huseynov D.A., Rashidov T.M. Isotopic composition of the products of the mud volcanoes activity in the South-Caspian basin in connection with petroleum potential of the deeply buried sediments // ANAS Transactions, Earth Sciences, № 1, 2022, pp. 68-80 (In Russ.).
  22. Goodwin N., Abdullayev N., Javadova A., Volk H., Riley G. Diamondoids and basin modeling reveal one of the world's deepest petroleum systems, South Caspian basin, Azerbaijan. Journal of Petroleum Geology, Vol. 43, No. 2, 2020, pp. 133—150.
  23. Gordadze G., Kerimov V.Yu., Giruts M., Poshibaeva A., Koshelev V. Genesis of the asphaltite of the Ivanovskoe field in the Orenburg region Russia // Fuel, 2018, 216, pp. 835—842.
  24. Gordadze G.N., Kerimov V.Y., Gaiduk A.V., ... Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V. Article Hydrocarbon biomarkers and diamondoid hydrocarbons from late Precambrian and lower Cambrian rocks of the Katanga saddle (Siberian Platform) // Geochemistry International, 2017, 55(4), pp. 360—366.
  25. Guliyev I.S., Klyatsko N.V., Mamedov S.A., Suleimanova S.V. Oil-producing and reservoir properties of the South Caspian Basin sediments. Lithology and useful minerals, № 2, 1992, pp. 110—120.
  26. Hamid A.K. Lahijani, Peygham Ghaffari, Suzanne A.G. Leroy, Abdolmajid Naderi Beni, Evgeniy V. Yakushev, Behrooz Abtahi, Abolfazl Saleh, Milad Behravesh. A note on the silent decline of the Caspian environment // Marine Pollution Bulletin, 2024. Vol. 205, pp. 116—151.
  27. Javad B.M. Impact of physical process on propagating oil spills in the Caspian Sea // Marine Pollution Bulletin. 2021. Vol. 165, pp. 112—147.
  28. Javadova A.S. Petroleum source rock characterization and hydrocarbon generation, Baku archipelago, South Caspian basin, Azerbaijan. ANAS Transactions, Earth Sciences № 1. 2021, pp. 29—42.
  29. Jing Ziyang, Li Guobin, Zhang Yajun, Xie Tianfeng, Feng Yuan, Zhao Binbin, Wang Hongbin, Dai Shuang, Yang Zhaoping, Yuan Xiaoyu, Shi Zhongsheng, Tian Xin. Salt diapirism in the eastern margin of the Pre-Caspian Basin: Insight from physical experiments, // Journal of Geodynamics. 2022. Vol. 153 — 154, pp. 101—140.
  30. Kerimov K.M., Novruzov A.K., Daneshvar S.N. Deep faults and some features of oil and gas fields in the South Caspian megadepression. Vesti Baku University, No. 3, 2012, pp. 69—78.
  31. Kerimov V.Yu., Guliyev I.S., Javadova A.S., Kadirov F.A., Mustaev P.N., Gurbanov V.Sh., Huseynova Sh.M. Characteristics of source rocks and features of petroleum systems of the South Caspian basin. ANAS Transactions, Earth Sciences, № 1, 2024, pp. 77—92.
  32. Kerimov V.Yu., Guliyev I.S., Javadova A.S., Mustaev R.N., Gurbanov V.Sh., Huseynova Sh.M. Shale oil and gas systems of the South Caspian Depression. ANAS Transactions, Earth Sciences, № 2, 2024, pp. 123—140.
  33. Kerimov V.Yu., Osipov A.V., Mustaev R.N., Minligalieva L.I., Huseynov D.A. Conditions of formation and development of the void space at great depths // Neftyanoe Khozyaystvo — Oil Industry, № 4, 2019, pp. 22—27.
  34. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Etirmishli G.D., Yusubov N.P. Influence of modern geodynamics on the structure and tectonics of the Black Sea-Caspian region // Eurasian Mining, 35(1), 2021, pp. 3—8.
  35. Leroy S.A.G., Reimer P.J., Lahijani H.K., Naderi Beni A., Sauer E., Chalié F., Arpe K., Demory F., Mertens K., Belkacem D., Kakroodi A.A., Omrani Rekavandi H., Nokandeh J., Amini A. Caspian Sea levels over the last 2200 years, with new data from the S-E corner // Geomorphology. 2022. Vol. 403, pp. 108—136.
  36. Mekhtiev Sh.F., Rachinsky M.Z. On the possible mechanism of formation of oil and gas deposits and on the reasons for the regular change in the properties of oils and waters in the Absheron region of oil and gas formation and oil and gas accumulation. DAN Azerb. SSR. — T. XXIII. — No. 12. 1967.
  37. Mekhtiev Sh.F., Rachinsky M.Z., Kuliev K.G. On the issue of sulfate ion distribution in groundwater of Pliocene deposits of the Lower Kura depression. News of universities: Oil and Gas, No. 2. 1984.
  38. Michał P. Legal status of Caspian Sea — problem solved // Marine Policy. 2021. Vol. 123, pp. 104—121.
  39. Petroleum Geology Atlas. Caspian Sea Region. Vol. I, II, III (Ed. By Ya. P. Malovitsky, B.V. Senin, F.T. Lysell). PGS Reservoir AS, PA Soyuzmorgeo. Norway, Oslo, 1997.
  40. Yusubov N.P. On the issue of fault tectonics of depression zones of Azerbaijan based on seismic exploration data. SOCAR Proceedings, No. 3, 2020, pp. 011—017.
  41. Yusubov N.P., Guliyev I.S. Mud volcanism and hydrocarbon systems of the South Caspian Basin (based on the latest geophysical and geochemical data). Baku, Elm, 2022, 168 p.

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Романов П.А. — проанализировал информацию и провел численное моделирование углеводородных систем в Южно-Каспийском нефтегазоносном бассейне и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Серикова У.С. — разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Челяпин Е.Д. — составил таблицы по трехмерным моделям эмиграции УВ по стратиграфическим интервалам Южно-Каспийского бассейна и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Перов А.Д. — составил таблицы по трехмерным моделям эмиграции УВ по стратиграфическим интервалам Южно-Каспийского бассейна и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Pavel A. Romanov — analyzed the information and conducted numerical modeling of hydrocarbon systems in the South Caspian oil and gas field and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Ulyana S. Serikova — developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Egor D. Chelyapin — compiled tables on three-dimensional models of UV emigration across the stratigraphic intervals of the South Caspian basin and agrees to assume responsibility for all aspects of the work.

Artemy D. Perov — compiled tables on three-dimensional models of UV emigration across the stratigraphic intervals of the South Caspian basin and agrees to assume responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Романов Павел Анатольевич\*** — преподаватель кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: [romanovpa@mgi.ru](mailto:romanovpa@mgi.ru)

тел.: +7 (960) 300-32-66

SPIN-код: 5640-9573

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9870-7324>

**Pavel A. Romanov\*** — Lecturer at the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23 Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: [romanovpa@mgi.ru](mailto:romanovpa@mgi.ru)

tel.: +7 (960) 300-32-66

SPIN-code: 5640-9573

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9870-7324>

**Серикова Ульяна Сергеевна** — доктор технических наук, доцент, преподаватель кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: [lubava45@gmail.com](mailto:lubava45@gmail.com)

тел.: +7 (965) 429-39-79

SPIN-код: 9363-4064

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5981-5202>

**Ulyana S. Serikova** — Dr. Sci. (Tech.), Assoc. Prof., Lecturer at the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23 Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: [lubava45@gmail.com](mailto:lubava45@gmail.com)

tel.: +7 (965) 429-39-79

SPIN-code: 9363-4064

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5981-5202>

**Челяпин Егор Дмитриевич** — студент 5-го курса ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [chapa-egorchik@yandex.ru](mailto:chapa-egorchik@yandex.ru)  
тел.: +7 (929) 699-49-34  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5939-8076>

**Перов Артемий Дмитриевич** — студент 5-го курса ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [gehjd02@mail.ru](mailto:gehjd02@mail.ru)  
тел.: +7 (903) 361-84-43  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6738-3849>

**Egor D. Chelyapin** — 5<sup>th</sup> year student of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.  
23 Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [chapa-egorchik@yandex.ru](mailto:chapa-egorchik@yandex.ru)  
tel.: +7 (929) 699-49-34  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5939-8076>

**Artemy D. Perov** — 5<sup>th</sup> year student of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.  
23 Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [gehjd02@mail.ru](mailto:gehjd02@mail.ru)  
tel.: +7 (903) 361-84-43  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6738-3849>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗСОДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОЙ НЕФТИ В ВОРОБЬЕВСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ В ПРЕДЕЛАХ ЮЖНОГО ПОГРУЖЕНИЯ БУЗУЛУКСКОЙ ВПАДИНЫ

Д.Д. МИХАЛЬЧЕНКО<sup>1,\*</sup>, П.Н. СТРАХОВ<sup>1</sup>, Г.Н. ПОТЕМКИН<sup>2,3</sup>, И.Д. ЛОГИНОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы»  
6, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117198, Россия

<sup>2</sup> ООО «ИПНЭ»

13а, ул. Ярославская, г. Москва 129366, Россия

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Южное погружение Бузулукской впадины остается одним из наиболее перспективных районов нефтегазодобычи Оренбургской области благодаря значительным остаточным запасам и благоприятным характеристикам девонских залежей. Месторождения данного региона отличаются сложным геологическим строением, высоким газовым фактором (более 1000 м<sup>3</sup>/т) и устойчивыми дебитами нефти, что требует применения современных геолого-технических решений. Несмотря на относительно высокий уровень изученности, из-за сложного строения и особенностей флюидодинамики разработка зрелых залежей сопровождается рядом вызовов и сохраняет актуальность для дальнейших исследований.

**Цель.** Выявление пространственных закономерностей распределения газосодержания пластовых нефтей в пределах южного погружения Бузулукской впадины.

**Материалы и методы.** В качестве исходных материалов использовались результаты геолого-промысловых исследований и данные по разработке. Применены методы структурно-геологического анализа, сопоставления газосодержания и тектонического положения залежей.

**Результаты.** Значения газосодержания нефтяных залежей воробьевского горизонта (пласт D<sub>IV</sub>) в пределах южной и центральной частей Бузулукской впадины демонстрируют существенную вариативность. Анализ пространственного распределения параметра показал наличие общей тенденции повышения газосодержания от Бобровско-Покровского вала в сторону Камелик-Чаганской структурной зоны. При этом наиболее высокие значения (до 902 м<sup>3</sup>/т) зафиксированы на отдельных месторождениях структурной зоны. Однако в ходе структурно-тектонического анализа прямой и устойчивой зависимости между величиной газосодержания и тектонической приуроченностью выявлено не было. Установленные закономерности носят скорее локальный характер и могут быть обусловлены совокупным влиянием литолого-стратиграфических, тектонических, термобарических и флюидодинамических факторов.

**Заключение.** Установлена общая тенденция к увеличению газосодержания пластовых нефтей по направлению к южной границе Бузулукской впадины. Полученные данные указывают на многокомпонентную природу формирования аномально высоких значений газосодержания.

**Ключевые слова:** газосодержание, воробьевский горизонт, Бузулукская впадина, Камелик-Чаганская структурная зона

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Михальченко Д.Д., Страхов П.Н., Потемкин Г.Н., Логинов И.Д. Закономерности распределения газосодержания пластовой нефти в воробьевских отложениях в пре-

делах южного погружения Бузулукской впадины. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(2):20—31. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-20-31> EDN: [ESIJHN](https://www.edn.ru/ESIJHN)

Статья поступила в редакцию 09.06.2025

Принята к публикации 16.06.2025

Опубликована 30.06.2025

\* Автор, ответственный за переписку

## DISTRIBUTION PATTERNS OF GAS CONTENT IN VOROBYOV DEPOSITS WITHIN THE SOUTHERN DIP OF THE BUZULUK DEPRESSION

DANIIL D. MIKHALCHENKO<sup>1</sup>, PAVEL N. STRAKHOV<sup>1</sup>, GRIGORIY N. POTEKIN<sup>2,3</sup>, ILIYA D. LOGINOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> RUDN University

6, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117198, Russia

<sup>2</sup> LLC "IPNE"

13A, Yaroslavskaya str., Moscow 129366, Russia

<sup>3</sup> Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

### ABSTRACT

**Background.** The southern immersion of the Buzuluk depression remains one of the most promising areas of oil and gas production in the Orenburg region due to significant residual reserves and favorable characteristics of Devonian deposits. The deposits of this region are characterized by a complex geological structure, high gas factor (more than 1000 m<sup>3</sup>/t) and stable oil reserves, which requires the use of modern geological and technical solutions. Despite the relatively high level of knowledge, due to the complex structure and features of fluid dynamics, the development of mature deposits is accompanied by a number of challenges and remains relevant for further research.

**Aim.** Identification of spatial patterns of the distribution of the gas content of reservoir oils within the southern immersion of the Buzuluk depression.

**Materials and methods.** The results of geological and commercial research and development data were used as source materials. Methods of structural and geological analysis, comparison of the gas content and the tectonic position of deposits are applied.

**Results.** The values of the gas content of the Vorobyovsky horizon oil deposits (formation D<sub>IV</sub>) within the southern and central parts of the Buzuluk depression demonstrate significant variability. An analysis of the spatial distribution of the parameter showed the presence of a general trend of increasing gas content from the Bobrovsko-Pokrovsky shaft towards the Kamelik-Chagan structural zone. At the same time, the highest values (up to 902 m<sup>3</sup>/t) were recorded in individual deposits of the structural zone. However, the structural and tectonic analysis did not reveal a direct and stable relationship between the amount of gas content and tectonic confinement. The established patterns are rather local in nature and may be due to the combined influence of lithological, stratigraphic, tectonic, thermobaric and fluid dynamic factors.

**Conclusion.** A general trend has been established towards an increase in the gas content of reservoir oils towards the southern boundary of the Buzuluk depression. The data obtained indicate the multicomponent nature of the formation of abnormally high values of gas content.

**Keywords:** gas content, Vorobyovsky horizon, Buzuluk depression, Kamelik-Chagan structural zone

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

## ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING OF HYDROCARBON RESERVES

**For citation:** Mikhalchenko D.D., Strakhov P.N., Potemkin G.N., Loginov I.D. Distribution patterns of gas content in Vorobyov deposits within the southern dip of the Buzuluk depression. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(2):20—31. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-20-31> EDN: [ESIJHN](https://www.edn.ru/ESIJHN)

*Manuscript received 09 June 2025*

*Accepted 16 June 2025*

*Published 30 June 2025*

\* Corresponding author

Южное погружение Бузулукской впадины (ЮПБВ) остается одним из приоритетных районов добычи углеводородов на территории Оренбургской области благодаря значительным запасам и наличию зрелых, но все еще продуктивных месторождений. Залежи, приуроченные к среднедевонскому комплексу, отличаются высокой степенью геологической и структурной сложности, а также специфическими флюидодинамическими характеристиками.

Несмотря на высокий уровень геолого-геофизической изученности южной части Бузулукской впадины, данный район продолжает оставаться в центре внимания исследователей, ряд из которых сходятся во мнении, что основная часть запасов Бузулукской впадины сосредоточена в девонских отложениях ЮПБВ [3, 5, 6].

На ряде месторождений зафиксированы устойчиво высокие значения газовых факторов (свыше 1000 м<sup>3</sup>/т) при одновременном сохранении высоких дебитов нефти, достигающих 40—200 т/сут и более, обводненность скважин составляет 90—95%, проектный коэффициент извлечения нефти в среднем составляет 0,5.

Разработка таких месторождений сталкивается с рядом проблем, связанных как с выработанностью запасов, обеспечением устойчивой добычи и вовлечением неразбуренных зон залежей, так и с активным разгазированием нефти в условиях пласта, что вызывает необходимость поддержания пластового давления. В этих условиях эффективность традиционных методов разработки существенно снижается, что требует внедрения современного комплекса геолого-технических мероприятий. Наиболее результативными на текущем этапе являются технологии многостадийного гидроразрыва пласта, бурение боковых стволов, а также горизонтальных и многозабойных скважин, направленных на увеличение степени охвата продуктивных пластов при щадящих депрессиях.

Сразу после выявления в начале 1980-х залежей углеводородов (УВ) в средне-верхнедевонских отложениях на юге Бузулукской впадины,

исследователи обращают внимание на необычные для региона фазовое состояние и свойства УВ [4]: установлены газоконденсатные залежи со значительным содержанием конденсата (в карбонатных коллекторах бийского и афонинского горизонтов) и нефтяные залежи с высоким газосодержанием (в песчаниках ардатовского и воробьевского горизонтов). В работе [7] проведен анализ характеристик углеводородов в средне-верхнедевонских отложениях в пределах Саратовской области, включая юго-западную часть Бузулукской впадины. Результаты статистической обработки данных по газосодержанию и термобарическим условиям позволили для ардатовских, воробьевских и афонинских отложений выделить субширотно ориентированные зоны с близким фазовым состоянием углеводородов, то есть с севера на юг зона преимущественного наличия нефтяных залежей сменяется зоной с преобладанием газонефтяных и далее — газоконденсатных залежей. Также отмечается приуроченность зон к границам структур II порядка.

Это подтверждает сложную характеристику флюидной системы и необходимость ее более детального изучения, в том числе на примыкающей территории южного погружения Бузулукской впадины (Оренбургская область). Актуальность таких работ вызвана как задачами прогноза фазового состояния, так и корректного определения типа УВ для околоскритического флюида.

Для понимания особенностей распределения характеристик флюида проведен анализ открытых залежей в воробьевских отложениях в пределах южного погружения Бузулукской впадины на территории Оренбургской области.

Бузулукская впадина располагается в западной части Оренбургской области и представляет собой сложную отрицательную структуру округлой формы на юго-восточном склоне Волго-Уральской антеклизы со стороны глубоко погруженной Прикаспийской синеклизы [1]. В пределах Оренбургского сектора Бузулукской впадины открыто более 50 нефтяных и газовых месторождений,

**Закономерности распределения газосодержания пластовой нефти в воробьевских отложениях в пределах...**

в частности крупные многозалежные нефтяные: Росташи-Конновское, Давыдовское, Зайкинско-Зоринское, Вишневское и др.

Со среднедевонскими отложениями связывают значительные запасы углеводородного сырья не только южного погружения, но и всей Бузулукской впадины. Промышленной продуктивностью обладают карбонатные породы бийского (пласт  $D_{VI}$ ), клинцовского и мосоловского (пласт  $D_V$ ) горизонтов, а также песчаники воробьевского (пласт  $D_{IV}$ ) и ардатовского (пласт  $D_{III}$ ) горизонтов [3].

Для дальнейшего изучения был выбран воробьевский горизонт (пласт  $D_{IV}$ ). Продуктивный пласт  $D_{IV}$ , залегающий в основании горизонта, повсеместно распространен в Бузулукской впадине, в том числе в южной и центральной ее частях на месторождениях Гаршинское, Зайкинско-Зоринское, Бобровское, Давыдовское, Загорское, Росташинское и др. (рис. 1).

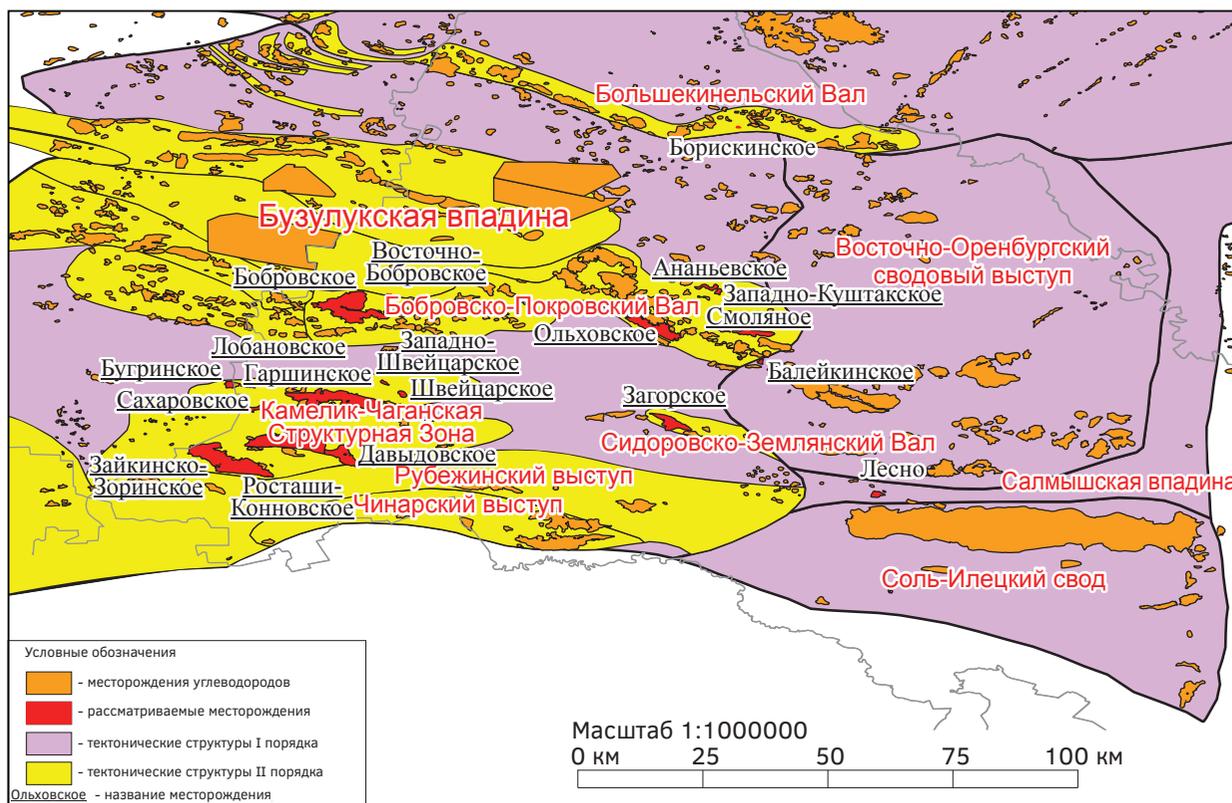
Залежи в отложениях воробьевского горизонта были проанализированы по степени освоения, типу, тектонической приуроченности и основным параметрам нефти (таблица).

Выявлен большой разброс значений газосодержания нефтяных залежей воробьевского гори-

зонта (пласт  $D_{IV}$ ) южной и центральной частей Бузулукской впадины, в том числе аномально высокие значения газосодержания отмечаются на Гаршинском (710 м<sup>3</sup>/т), Давыдовском (699 м<sup>3</sup>/т), Западно-Швейцарском (759 м<sup>3</sup>/т), Швейцарском (760 м<sup>3</sup>/т) месторождениях. Изменение параметров по площади показано на рисунках 2—5.

Подавляющее число месторождений юга Бузулукской впадины связано со структурами тектонического происхождения [2, 6]. При этом строение Бузулукской впадины в ее южной части в отложениях терригенного девона имеет ряд особенностей. Одной из таких особенностей является фрагментация как фундамента, так и покрывающих его девонских пород на отдельные структурные элементы: блоки и ступени. В связи с этим на первом этапе был проведен анализ свойств УВ месторождений к тектоническим элементам.

В целях выявления зависимости газосодержания от тектонической принадлежности залежи нефти в воробьевских отложениях южной части Бузулукской впадины были разделены в соответствии с их положением в пределах тектонических элементов второго порядка:



**Рис. 1.** Обзорная карта района работ

**Fig. 1.** Overview map of the work area

## ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING OF HYDROCARBON RESERVES

**Таблица.** Свойства залежей воробьевского горизонта (пласта D<sub>IV</sub>) месторождений Оренбургской области  
**Table.** Properties of the Vorobyov horizon (formation D<sub>IV</sub>) fields of the Orenburg region

Месторождение	Степень освоения	Тип залежи	Тектоническая приуроченность	Газосодержание, м <sup>3</sup> /т	Плотность нефти, г/см <sup>3</sup>	Вязкость нефти, мПа*с	Объемный коэффициент, д. ед.
Ананьевское — Н	РБ	Н	БПВ	58,0	0,855	2,22	1,14
Балейкинское — ГН	РБ	Н	БПВ	86,1	0,832	4,61	1,22
Бобровское — ГН	РБ	Н	БПВ	241,3	0,793	0,48	1,52
Борискинское — Н	РБ	Н	БКВ	70,9	0,822	1,53	1,17
Бугринское — Н	РБ	Н	КЧЗС	540	0,770	1,15	1,59
Восточно-Бобровское — Н	РВ	Н	БПВ	99,7	0,805	0,65	1,26
Гаршинское — Н	РБ	Н	КЧЗС	710,9	0,734	0,18	2,56
Давыдовское — Н	РБ	Н	КЧЗС	699,0	0,769	0,11	2,66
Загорское — Н	РБ	Н	СЗВ	572,3	0,770	0,23	2,20
Западно-Куштакское — Н	РБ	Н	БПВ	58,8	0,860	2,20	1,15
Западно-Швейцарское — Н	РВ	Н	КЧЗС	759,0	0,793	0,15	2,66
Зайкинско-Зоринское — НГК	РБ	Н	КЧЗС	902,0	0,811	0,11	3,10
Лесное — Н	РБ	Н	СВ	97,3	0,802	1,39	1,17
Лобановское — Н	РБ	Н	КЧЗС	171,8	0,842	3,28	1,40
Матросовское — Н	РБ	Н	ЮТС	57,6	0,835	3,75	1,22
Ольховское — Н	РБ	Н	БПВ	533,3	0,781	0,17	2,19
Росташи-Конновское — Н	РБ	Н	КЧЗС	555,0	0,783	0,20	1,97
Сахаровское — НГК	РБ	Н	КЧЗС	184,5	0,842	0,52	1,43
Смоляное — Н	РБ	Н	БПВ	478,4	0,776	0,19	1,70
Судьбадаровское — Н	РВ	Н	ВОСП	289,6	0,817	5,31	1,55
Тат-Кандызское — Н	РБ	Н	ЮТС	28,2	0,813	2,34	1,02
Швейцарское — Н	РВ	Н	КЧЗС	760,3	0,793	-	-

Примечание. РБ — разрабатываемое, РВ — разведываемое, Н — нефтяное, ГН — газонефтяное, НГК — нефтегазоконденсатное, БВ — Бузулукская впадина, БПВ — Бобровско-Покровский вал, СВ — Салмышская впадина, СЗВ — Сидоровско-Землянский вал, ВОСП — Восточно-Оренбургское сводовое поднятие, ЮТС — Южный склон Татарского свода, КЧЗС — Камелик-Чаганская структурная зона, БКВ — Большекинельский вал.

Note. РБ — developed, РВ — explored, Н — oil, ГН — oil and gas, НГК — oil, gas and condensate, БВ — Buzulukskaya depression, БПВ — Bobrovsko-Pokrovsky shaft, СВ — Salmyshskaya depression, СЗВ — Sidorovsko-Zemlyansky shaft, ВОСП — Vostochno-Orenburg arch uplift, ЮТС — Southern slope of the Tatar arch, КЧЗС — Kamelik-Chagan architectural zone, БКВ — Bolshekinelskiy shaft.

Бобровско-Покровского вала, Сидоровско-Землянского вала и Камелик-Чаганской структурной зоны.

К Бобровско-Покровскому валу отнесено семь месторождений. Из них лишь два — Смоляное и Ольховское — демонстрируют anomalously высокие значения газосодержания, составляющие 478,42 и 533,31 м<sup>3</sup>/т соответственно. Повышенные значения (241 м<sup>3</sup>/т) установлены на Бобровском месторождении. Остальные четыре месторождения вала характеризуются стандартными показателями, соответствующими фоновому уровню (рис. 6).

В пределах Сидоровско-Землянского вала расположено единственное месторождение — Загорское, для которого газосодержание составляет 572,3 м<sup>3</sup>/т.

Наиболее выраженное повышение газосодержания зафиксировано среди месторождений третьей группы, приуроченных к Камелик-Чаганской структурной зоне (рис. 7). Из девяти месторождений данной зоны семь демонстрируют anomalously высокие значения газосодержания в диапазоне от 540 до 902 м<sup>3</sup>/т. К ним относятся Зайкинско-Зоринское, Росташи-Конновское, Бугринское, Гаршинское, Западно-Швейцарское,

Закономерности распределения газосодержания пластовой нефти в воробьевских отложениях в пределах...

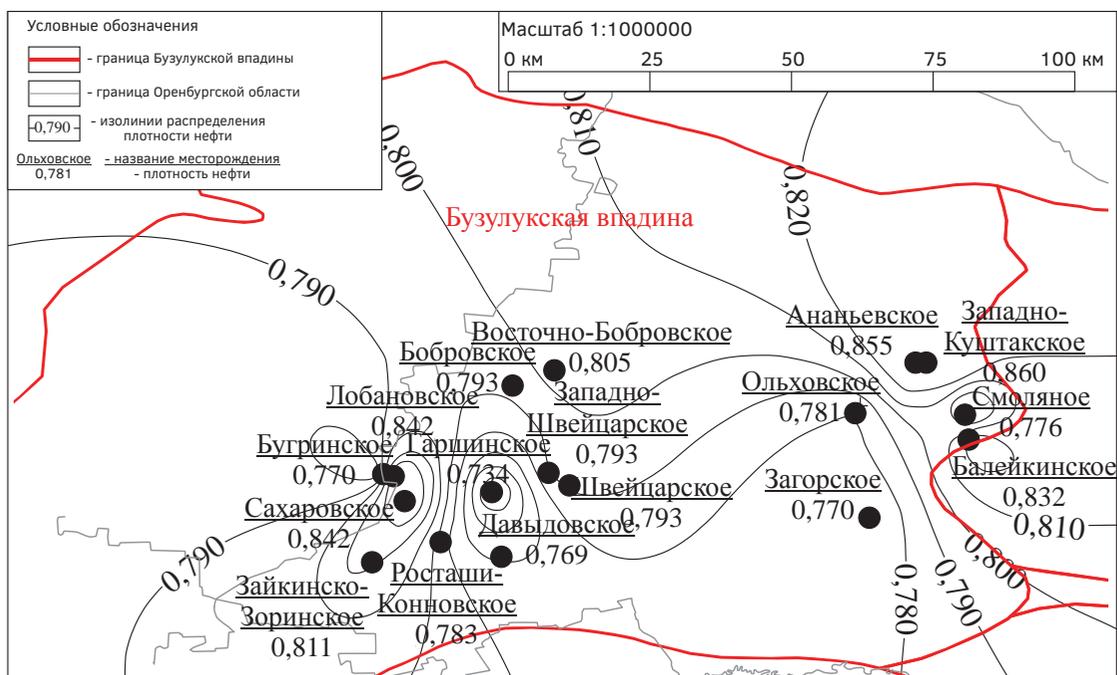


Рис. 2. Карта распределения плотности нефти в воробьевских отложениях  
Fig. 2. Map of the distribution of oil density in the Vorobyov deposits

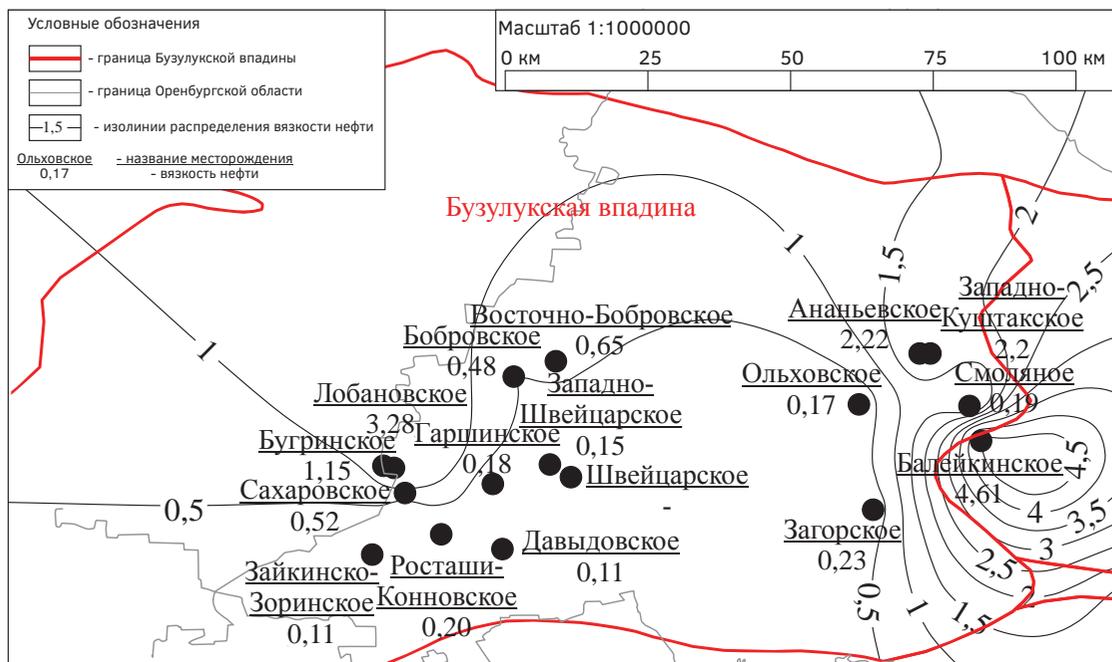


Рис. 3. Карта распределения вязкости нефти в воробьевских отложениях  
Fig. 3. Map of the oil viscosity distribution in the Vorobyov deposits

Швейцарское и Давыдовское месторождения. Исключение составляют Сахаровское и Лобановское месторождения, на которых зафиксированы сравнительно низкие значения газосодержания — 184,5 и 171,8 м<sup>3</sup>/т соответственно.

Общую тенденцию увеличения газосодержания с севера на юг от Бобровско-Покровского вала к Камелик-Чаганской структурной зоне демонстрирует карта распределения газосодержания, построенная в пределах рассматриваемых

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ /  
GEOLOGY AND PROSPECTING OF HYDROCARBON RESERVES

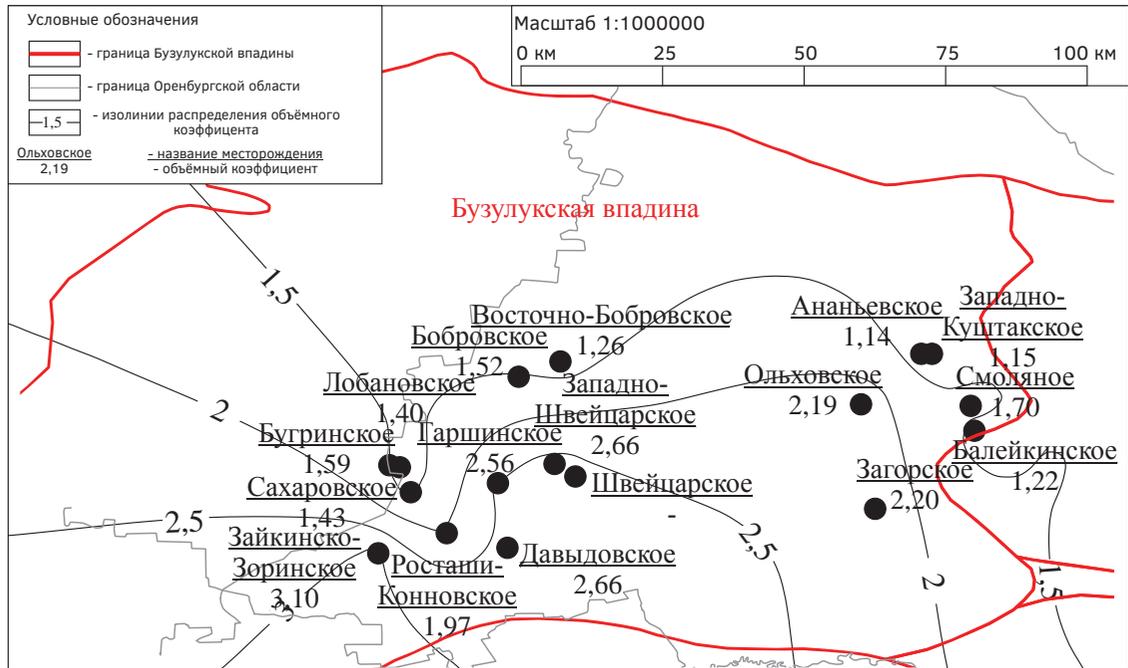


Рис. 4. Карта распределения объёмного коэффициента в воробьевских отложениях.  
Fig. 4. Volume coefficient distribution map in the Vorobyev deposits.

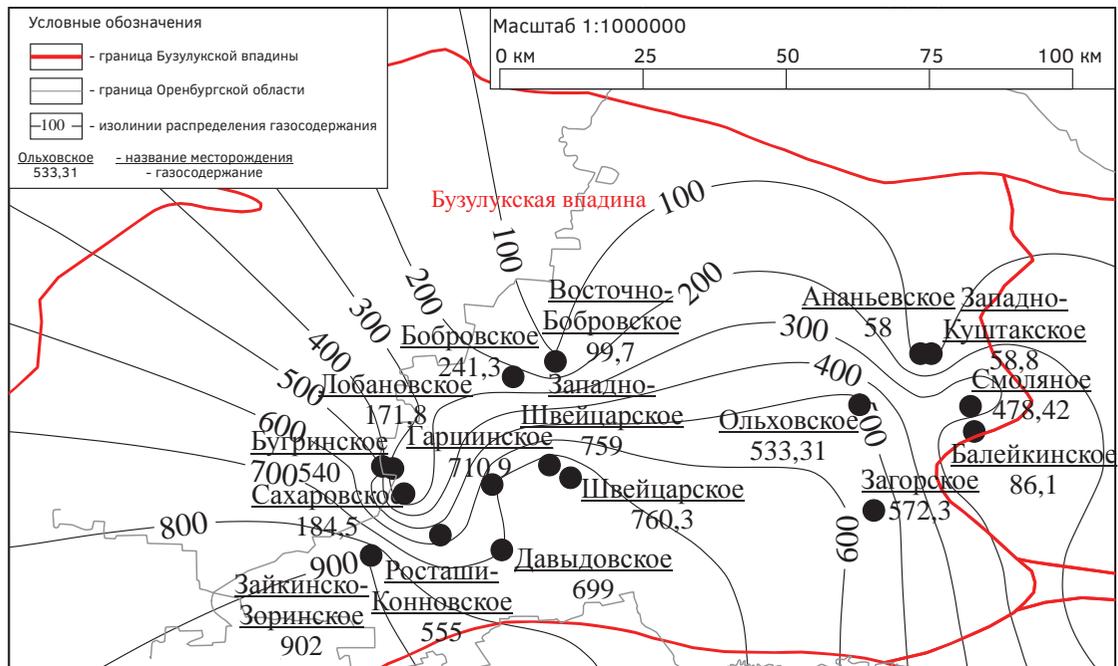


Рис. 5. Карта распределения газосодержания в пределах Бузулукской впадины  
Fig. 5. Map of the distribution of gas content within the Buzuluk depression

месторождений (рис. 5), указанная закономерность соответствует установленной в пределах смежных частей Саратовской области [7].

Большинство месторождений с повышенными значениями газосодержания приурочены

к Камелик-Чаганской структурной зоне, которая расположена в юго-западной части Бузулукской впадины и имеет наиболее выраженное ступенчато-блоковое строение: от Гаршинского блока на севере до Рубежинского прогиба на юге.

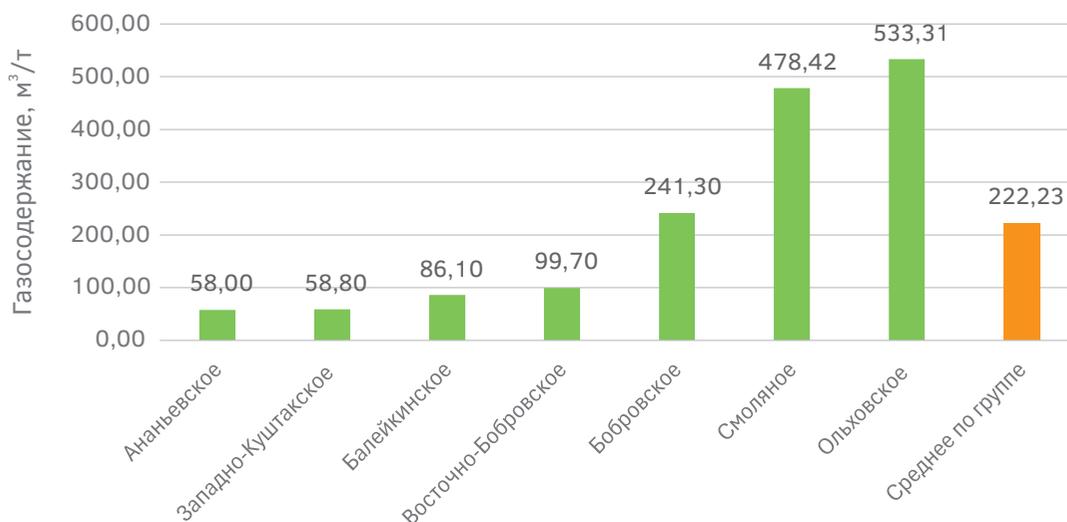


Рис. 6. Гистограмма распределения газосодержания по месторождениям Бобровско-Покровского вала.  
Fig. 6. Histogram of the distribution of gas content in the Bobrovsko-Pokrovsky val fields

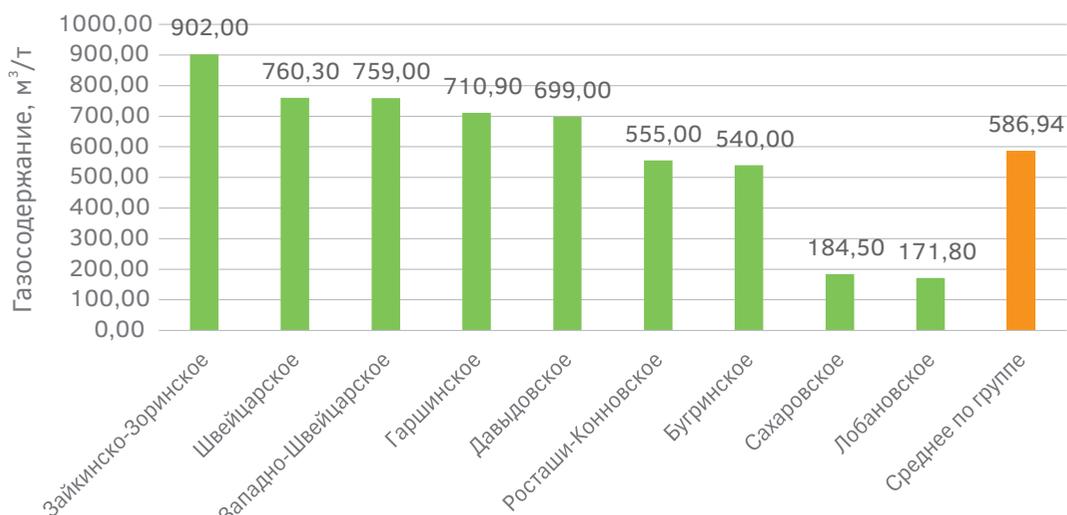


Рис. 7. Гистограмма распределения газосодержания по месторождениям Камелик-Чаганской структурной зоны.  
Fig. 7. Histogram of the distribution of gas content across the fields of the Kamelik-Chagan structural zone

Значительная часть месторождений этой структурной зоны приурочены к приразломным зонам выделенных ступеней и характеризуются структурно-дизъюнктивным типом ловушек [8].

Однако наличие в пределах Бобровско-Покровского вала месторождений с повышенным газосодержанием не позволяет сделать однозначный вывод о связи аномально высоких значений газосодержания исключительно с тектонической приуроченностью. В связи с этим был проведен сравнительный анализ физико-химических свойств нефти и растворенного газа месторождений с высокими и низкими значениями газосодержания, приуроченных

к Камелик-Чаганской структурной зоне и Бобровско-Покровскому валу.

В пределах Камелик-Чаганской структурной зоны были выбраны месторождения с высоким газосодержанием — Гаршинское и низким — Сахаровское, аналогично были выбраны месторождения в пределах Бобровско-Покровского вала: с высоким газосодержанием — Смоляное и низким — Ананьевское.

На Гаршинском месторождении по результатам изучения распределения параметров плотность пластовой нефти — 542,0 кг/м³, динамическая вязкость — 0,18 мПа·с (незначительная). Давление насыщения нефти газом

при пластовой температуре — 25,48 МПа, газо-содержание при однократном разгазировании — 710,9 м<sup>3</sup>/т.

По результатам расчета дифференциального разгазирования плотность нефти составила 773,0 кг/м<sup>3</sup> (особо легкая), газосодержание — 710,9 м<sup>3</sup>/т, объемный коэффициент — 2,564. Динамическая вязкость разгазированной нефти — 3,33 мПа·с.

Газ, выделившийся из нефти при дифференциальном разгазировании, относится к горючим. Характеризуется преобладанием содержания метана (57,94%), отсутствием сероводорода, малым содержанием азота + редкие (2,70%) с промышленным содержанием гелия (0,060%). Мольное содержание углекислого газа — 2,70%, этана — 18,72%, пропана — 11,03%, высших углеводородов (пропан + высшие) — 19,65%. Относительная плотность газа по воздуху — 0,913, теплотворная способность — 50467,5 кДж/м<sup>3</sup>.

По результатам исследований поверхностной пробы нефть малосернистая (массовое содержание серы 0,32%), малосмолистая (смола силикагелевых 2,42%, асфальтенов 0,45%), высокопарафинистая (8,48%). Объемный выход светлых фракций при разгонке до 300 °С — 66,0%.

На Сахаровском месторождении в результате исследования поверхностных проб нефти пласта D<sub>IV</sub> определено: плотность флюида 840 кг/м<sup>3</sup>, выход светлых фракций до 300 °С — 50%, динамическая вязкость при 20 °С — 4,54 мПа·с. Содержание серы составило 0,73%, твердых парафинов — 9,55% (температура плавления парафина 56 °С), смола силикагелевых — 6,11%, асфальтенов — 2,00%. Нефть является сернистой, высокопарафиновой, смолистой.

При исследовании глубинных проб пласта D<sub>IV</sub> Сахаровского месторождения методом стандартной сепарации плотность пластовой нефти составила 739 кг/м<sup>3</sup>, сепарированной — 842 кг/м<sup>3</sup>, газосодержание — 184,5 м<sup>3</sup>/т (155,2 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>), объемный коэффициент — 1,435, усадка нефти — 31,0%, давление насыщения — 16,7 МПа.

Растворенный газ, выделившийся при стандартной сепарации, содержит 54,77% метана, 14,67% этана, 13,63% пропана, 2,28% изобутана, 5,07% н-бутана, 1,78% изопентана, 1,75% н-пентана, 1,20% гексанов, 0,24% гептанов, 0,03% октанов. Из компонентов неуглеводородного ряда определен азот в количестве 3,16%, диоксид углерода — 1,34%. Присутствует гелий в кондиционном количестве — 0,078%. Сероводород отсутствует. Удельный вес нефтяного газа равен 1,206 кг/м<sup>3</sup>, относительная плотность газа по воздуху — 1,001.

В растворенном газе устьевых проб из скважины 325 концентрация метана равна 57,27%, этана — 15,11%, пропана — 12,08%, изобутана — 2,50%, н-бутана — 4,75%, изопентана — 1,96%, н-пентана — 1,88%, гексаны — 0,61%, гептаны — 0,27%. Газ углеводородного состава с концентрацией азота 1,63%, углекислого газа 1,88%, гелия 0,090%. Сероводород отсутствует. Удельный вес газа равен 1,180, относительная плотность по воздуху — 0,979.

Нефть месторождений, приуроченных к Бобровско-Покровскому валу, отличается более высокой плотностью и меньшим газосодержанием.

Так, на Ананьевском месторождении в результате исследования разгазированной нефти пласта D<sub>IV</sub> в стандартных условиях поверхностной пробы определено: плотность флюида 859 кг/м<sup>3</sup>, кинематическая вязкость при 20 °С — 12,29 мм<sup>2</sup>/с, динамическая вязкость при 20 °С — 10,56 мПа·с. Содержание серы составило 1,03%, твердых парафинов — 5,10% (температура плавления парафина 55 °С), смола силикагелевых — 7,09%, асфальтенов — 2,56%. Нефть является сернистой, парафиновой, смолистой.

По результату однократного разгазирования глубинной пробы плотность пластовой нефти составляет 798 кг/м<sup>3</sup>, давление насыщения нефти газом при пластовой температуре — 8,3 МПа, газосодержание нефти — 71,3 м<sup>3</sup>/т (61,3 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>), динамическая вязкость пластовой нефти — 2,22 мПа·с, усадка — 15,25%.

При исследовании глубинной пробы нефти по методу дифференциального (ступенчатого) разгазирования плотность сепарированной нефти равна 855 кг/м<sup>3</sup>, газосодержание — 58,0 м<sup>3</sup>/т, объемный коэффициент — 1,14.

Мольное содержание компонентов в смеси газов, выделившихся из нефти при дифференциальном (ступенчатом) разгазировании, составляет: углекислый газ — 0,65%, азот — 5,46%, гелий — 0,050%, метан — 53,22%, этан — 20,71%, пропан — 13,00%, бутаны — 5,19%, пентаны — 1,26%, гексаны — 0,33%, гептаны + высшие — 0,14%. Сероводород отсутствует. Плотность газа (смеси) равна 1,110 кг/м<sup>3</sup>, относительная плотность газа по воздуху — 0,921.

На Смолянском месторождении в поверхностных условиях плотность нефти менее 0,800 г/см<sup>3</sup>, вязкость — 3,58 мПа·с. Температура застывания нефти составляет -13,9 °С, а начала кипения +54,5 °С.

В нефти также содержатся асфальтены (0,31—3,09), смолы силикагелевые (4,21—12,1), парафины (0,82—7,48), сера (0,28—0,90 весов. %).

В пластовых условиях плотность нефти — 0,6185 г/см<sup>3</sup>, вязкость — 0,19 мПа·с, температура +69 °С (68—70 °С), давление насыщения — 23,03 МПа. По результатам дифференциального разгазирования объемный коэффициент равен 1,70, газосодержание — 478,4 м<sup>3</sup>/т, а плотность нефти — 0,776 г/см<sup>3</sup>.

Растворенный в нефти газ имеет плотность 0,982 кг/м<sup>3</sup> и содержит метан — 74,13, этан — 9,2, пропан — 5,44, бутаны — 3,51, азот — 2,67, углекислый газ — 0,92, гелий — 0,09 мольн. % (одна проба). Сероводород в газе отсутствует.

Таким образом, нефти Камелик-Чаганской зоны, особенно Гаршинского месторождения, являются более легкими, обладают высоким газосодержанием и низким объемным коэффициентом, что указывает на их конденсатный или переходный характер.

Нефти месторождений Бобровско-Покровского вала имеют значительно меньшее газосодержание, но при этом обладают более высокими вязкостью и содержанием серы.

## Вывод

Анализ пространственного распределения газосодержания нефтяных залежей воробьевского горизонта (пласт D<sub>IV</sub>) в пределах южной и централь-

ной частей Бузулукской впадины показал его высокую вариабельность с тенденцией к росту с севера на юг.

Наибольшие значения газосодержания (до 902 м<sup>3</sup>/т) зафиксированы на ряде месторождений Камелик-Чаганской структурной зоны, что указывает на наличие определенной закономерности повышения газосодержания в этом направлении. Однако выявленные отклонения — в частности, относительно низкие значения на Сахаровском и Лобановском месторождениях, а также наличие месторождений с повышенным газосодержанием в пределах Бобровско-Покровского вала — не позволяют на текущем этапе говорить об однозначной зависимости между уровнем газосодержания и тектонической приуроченностью.

Полученные данные свидетельствуют о сложной и многокомпонентной природе факторов, определяющих насыщенность залежей нефти растворенным газом. Среди возможных причин аномально высоких значений газосодержания следует указать тектонические, генетические и термобарические условия, а также особенности условий формирования и текущего состояния залежей, в том числе качества покрышек, тектонической истории региона и условий переформирования залежей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов В.К., Галимов А.Г., Донцевич И.А. и др. Геологическое строение и нефтегазоносность Оренбургской области. Оренбург: Оренбургское книжное издательство, 1997. 272 с.
2. Голов А.А., Мохнаткин В.А. Перспективы развития поисково-разведочных работ на южном погружении Бузулукской впадины в Оренбургской области // Геология нефти и газа. 2004. № 3. С. 11—16.
3. Жемчугова В.А., Мятчин О.М. Среднедевонские резервуары нефти и газа на юге Бузулукской впадины: особенности строения, условия образования, нефтегазоносный потенциал // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2015. № 6. С. 36—43.
4. Кутеев Ю.М., Макаров Г.В., Желтовский В.И. (ВНИИГаз). Новый тип залежей УВ в юго-западной части Оренбургской области // Геология нефти и газа. 1988. №3. С. 17—22.
5. Кутеев Ю.М., Савинкова Л.Д. Состояние ресурсной базы углеводородов Оренбургской области // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2011. № 2. С. 16—21.
6. Литолого-тектоническая модель строения девонских терригенных отложений на территории Самарского региона (часть 1) / И. С. Гутман, Г. Н. Потемкин, Р. М. Галиев, С. П. Папухин // Нефтяное хозяйство. 2015. № 4. С. 21—25.
7. Орешкин И.В., Постнова Е.В., Пятаев А.А. Качественная оценка фазового состояния углеводородных смесей и геотермобарические условия нефтегазонакопления средне-верхнедевонского нефтегазового комплекса в юго-западной части Бузулукской впадины (Саратовская часть) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2015. Т. 15. № 1. — С. 45—55.
8. Строение кристаллического фундамента в крайней юго-восточной зоне Восточно-Европейской платформы / Соколов А.Г., Денцевич И.А., Черепанов А.Г., Лавренко Д.А. // Геология нефти и газа. 2011. № 4. С. 39—46.

## REFERENCES

1. Baranov V.K., Galimov A.G., Dontskovich I.A. and others. Geological structure and oil and gas potential of the Orenburg region. Orenburg: Orenburg Book Publishing House, 1997. 272 p.
2. Golov A. A. Mokhnatkin, V. A. Prospects for the development of prospecting operations at the southern

- plunge of the Buzuluk depression in the Orenburg region // The geology of oil and gas. 2004. No. 3. pp. 11—16.
3. Zhemchugova V.A., Myatchin O.M. Srednedevon oil and gas reservoirs in the south of the Buzuluk depression: structural features, formation conditions, oil and gas potential // Bulletin of Moscow University. Series 4. Geology. 2015. No. 6. pp. 36—43.
  4. Kuteev Yu.M., Makarov G.V., Zheltozsky V.I. (VNIIGaz). A new type of hydrocarbon deposits in the southwestern part of the Orenburg region // The geology of oil and gas. 1988. No. 3. pp. 17—22.
  5. Kuteev Yu.M., Savinkova L.D. The state of the hydrocarbon resource base of the Orenburg region // Mineral Resources of Russia. Economics and management. 2011. No. 2. pp. 16—21.
  6. Lithological and tectonic model of the structure of Devonian terrigenous deposits in the Samara region (part 1) / I.S. Gutman, G.N. Potemkin, R.M. Galiev, S.P. Papukhin // Oil industry. 2015. No. 4. pp. 21—25.
  7. Oreshkin I. V., Postnova, E. V., Pyataev, A. A. Qualitative assessment of the phase state of hydrocarbon mixtures and geothermobaric conditions of oil and gas accumulation of the Sredne-Verkhnedevonsky oil and gas complex in the southwestern part of the Buzuluk depression (Saratov region) // Proceedings of the Saratov University. A new series. Earth Science Series. 2015. Vol. 15, No. 1, pp. 45—55.
  8. Sokolov A.G., Dentskevich I.A., Cherepanov A.G., Leverents D.A. The structure of the crystalline basement in the marginal southeastern zone of the East European Platform // Geology of oil and gas. 2011. No. 4. pp. 39—46.

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Михальченко Д.Д. — собрал исходные данные и провел их анализ, разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Страхов П.Н. — разработал концепцию статьи, определил научно-методологические подходы к подготовке статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Потемкин Г.Н. — разработал концепцию статьи, определил научно-методологические подходы к подготовке статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Логинов И.Д. — провел литературный анализ существующих научных данных по теме работы, подготовил текст статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Daniil D. Mikhhalchenko — collected the initial data, conducted the analysis, developed the concept of the article, prepared the text of the article, agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Pavel N. Strakhov — developed the concept of the article, determined the scientific and methodological approaches to the preparation of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Grigory N. Potemkin — developed the concept of the article, determined the scientific and methodological approaches to the preparation of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Iliya D. Loginov — conducted a literary analysis of existing scientific data on the topic of the work, prepared the text of the article, agrees to take responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Михальченко Даниил Дмитриевич\*** — аспирант департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы».

6, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117198, Россия

e-mail: [1142240005@pfur.ru](mailto:1142240005@pfur.ru)

SPIN-код: 5492-7287

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6381-0717>

**Daniil D. Mikhhalchenko\*** — post-graduate researcher, Department of Mineral Developing and Oil & Gas, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University).

6 Miklukho-Maklaya str., Moscow 117198, Russia

e-mail: [1142240005@pfur.ru](mailto:1142240005@pfur.ru)

SPIN-code: 5492-7287

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6381-0717>

**Страхов Павел Николаевич** — доктор геолого-минералогических наук, профессор департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы». 6, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117198, Россия  
e-mail: [pavel.n.strakhov@mail.ru](mailto:pavel.n.strakhov@mail.ru)  
SPIN-код: 4821-8375  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9990-4514>

**Потемкин Григорий Николаевич** — кандидат геолого-минералогических наук, заместитель генерального директора по геологии ООО «ИПНЭ»; доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 13а, ул. Ярославская, г. Москва 129366, Россия  
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [potemkingn@mgri.ru](mailto:potemkingn@mgri.ru)  
SPIN-код: 4229-0832  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7178-1286>

**Логинов Илья Дмитриевич** — аспирант департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы». 6, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117198, Россия  
e-mail: [1142240028@pfur.ru](mailto:1142240028@pfur.ru)  
SPIN-код: 2561-1435  
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-3368-1504>

**Pavel N. Strakhov** — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Professor of the Department of Mineral Developing and Oil & Gas, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). 6 Miklukho-Maklaya str., Moscow 117198, Russia  
e-mail: [pavel.n.strakhov@mail.ru](mailto:pavel.n.strakhov@mail.ru)  
SPIN-code: 4821-8375  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9990-4514>

**Grigory N. Potemkin** — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Deputy General Director for Geology of IPNE LLC, Assoc. Prof. of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 13A, Yaroslavskaia str., Moscow 129366, Russia  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [potemkingn@mgri.ru](mailto:potemkingn@mgri.ru)  
SPIN-code: 4229-0832  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7178-1286>

**Iliya D. Loginov** — post-graduate researcher, Department of Mineral Developing and Oil & Gas, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). 6 Miklukho-Maklaya str., Moscow 117198, Russian Federation  
e-mail: [1142240028@pfur.ru](mailto:1142240028@pfur.ru)  
SPIN-code: 2561-1435  
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-3368-1504>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНОГО КОМПЛЕКСА ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ В СВЯЗИ С ОЦЕНКОЙ ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ КРЯЖА КАРПИНСКОГО

Т. СУЮНБАЕВ

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Рассматриваются особенности формирования переходного комплекса Восточного Предкавказья в связи с оценкой перспектив нефтегазоносности кряжа Карпинского.

**Цель.** Изучение особенностей формирования переходного комплекса Восточного Предкавказья с последующим бассейновым анализом и выделением основных элементов углеводородных систем.

**Материалы и методы.** Статистическое обобщение и систематизация данных и материалов, частично заимствованных из справочной литературы, фондовых источников, промысловых данных и опубликованных работ.

**Результаты.** В результате проведенных исследований переходного комплекса Восточного Предкавказья были выделены три потенциальные нефтегазоматеринские толщи, связанные с отложениями нефтекумской и култайско-демьяновской свит нижнего триаса, кизлярской свиты среднего триаса, а также глубокопогруженные каменноугольные отложения как потенциальная сланцевая нефтегазоматеринская толща.

**Заключение.** Комплексный анализ результатов изучения пород в скважинах, геохимических исследований и проведенных палеогеографических реконструкций послужил основой для прогнозирования основных элементов углеводородных систем.

**Ключевые слова:** Восточное Предкавказье, кряж Карпинского, бассейновый анализ, депозиты осадконакопления, палеогеографические обстановки

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Суюнбаев Т. Изучение особенностей формирования переходного комплекса Восточного Предкавказья в связи с оценкой перспектив нефтегазоносности кряжа Карпинского. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2025;67(2):32—46. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-32-46> EDN: [GJHOZZ](https://edn.ru/record/GJHOZZ)

Статья поступила в редакцию 19.05.2025

Принята к публикации 02.06.2025

Опубликована 30.06.2025

# EVOLUTIONARY FEATURES OF THE TRANSITIONAL COMPLEX IN EASTERN CISCAUCASIA REGARDING THE HYDROCARBON PROSPECTS OF THE KARPINSKY RIDGE

TEMIRBOLAT SUYUNBAYEV

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

## ABSTRACT

**Background.** This article considers the evolutionary features of formation of the transitional complex in Eastern Ciscaucasia regarding the hydrocarbon prospects of the Karpinsky Ridge.

**Aim.** To research specific evolutionary features of the transitional complex in Eastern Ciscaucasia and to carry out its basin analysis to identify the main components of petroleum systems.

**Materials and methods.** Statistical generalization and regimentation of materials borrowed from reference literature, stock sources, field data, and published works

**Results.** In the research area, three potential hydrocarbon-bearing rocks were identified, associated with the deposits of the Neftekumskaya and Kul'taisko-Demyanovskaya sections of the Lower Triassic, the Kizlyarskaya section of the Middle Triassic, as well as deeply buried Carboniferous deposits as a potential shale source rock.

**Conclusion.** An integrated analysis of well data, geochemical studies, and paleogeographic reconstructions served as the basis for forecasting the main elements of petroleum systems.

**Keywords:** Eastern Ciscaucasia, Karpinsky Ridge, basin analysis, sedimentation depocenters, paleogeographic settings

**Conflict of interest:** the author declares that there is no conflict of interest.

**Financial disclosure:** the study had no sponsorship.

**For citation:** Suyunbayev T. Evolutionary features of the transitional complex in Eastern Ciscaucasia regarding the hydrocarbon prospects of the Karpinsky Ridge. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(2):32–46. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-32-46> EDN: [GJHOZZ](https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-32-46)

*Manuscript received 19 May 2025*

*Accepted 02 June 2025*

*Published 30 June 2025*

Углеводородный потенциал Восточного Предкавказья сосредоточен мезозойско-кайнозойских отложениях плитного чехла и переходного комплекса. Продуктивные комплексы преимущественно приурочены к юрско-меловым отложениям: месторождения Промысловское, Баирское, Екатерининское, Ильменское, Каспийское и др. (рис. 1). Залежи в настоящее время в значительной степени выработаны или обводнены. Это определяет необходимость выявления новых поисковых трендов, в том числе в глубоководных стратиграфических интервалах переходного комплекса.

Анализ накопленной геолого-геофизической информации показывает, что объектами для поиска углеводородов могут являться пермо-триасовый

комплекс отложений, а также палеозойское основание кряжа Карпинского. На это указывают признаки нефтегазоносности, установленные в скважинах [4]. Так, в скв. Чограйская-2 из коры выветривания гранитов и вулканических пород палеозойского возраста получен приток слабогазированной пластовой воды, а в скв. Хомутниковская-2 получен приток пластовой воды с растворенным газом. В скв. Олейниковская-5 при бурении палеозойского интервала в сводовой части Промысловского блока произошел аварийный выброс газа.

Некоторые исследователи, включая А.В. Бембева, В.А. Жингеля, А.А. Ярошенко [4], учитывая наличие месторождений, расположенных недалеко от кряжа (Озерное, Байджановское, Гаруновское и др.), а также данные по скважинам,

## ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING OF HYDROCARBON RESERVES

рассматривают пермо-триасовый комплекс кряжа Карпинского в качестве перспективного направления для поисков углеводородов. При этом низкая геолого-геофизическая изученность переходного комплекса, обусловленная в том числе значительными (до 7 км) глубинами залегания отложений, а также слабое понимание эволюции осадочных бассейнов и входящих в их состав углеводородных систем, обуславливает отсутствие надежной геологической основы и, как следствие, существование различных моделей формирования этой части разреза и прогнозов перспектив нефтегазоносности.

Целью настоящего исследования являлось выполнение комплексного бассейнового анализа, включающего, реконструкцию условий осадконакопления осадочных бассейнов, существовавших в пределах изучаемой территории в период среднего-позднего палеозоя, выделение элементов углеводородных систем в разрезе переходного комплекса.

Полученные результаты составят основу для дальнейшего численного моделирования бассейнов и углеводородных систем, изучения геологических рисков и оценки углеводородного потенциала кряжа Карпинского.

### Характеристика объекта исследования

Объектом исследования в работе является территория Восточного Предкавказья и прилегающая акватория Каспия (рис. 1). Основными тектоническими структурами, входящими в область исследования, являются: сам кряж Карпинского, южная окраина Восточно-Европейской платформы, Западно-Прикаспийская синеклиза, Ростовско-Ставропольская система поднятий, Терско-Каспийский краевой прогиб и восточная часть Туранской плиты.

Геологический разрез Восточного Предкавказья представлен плитным чехлом, который включает преимущественно терригенные отложения от верхней юры до квартала и переходным

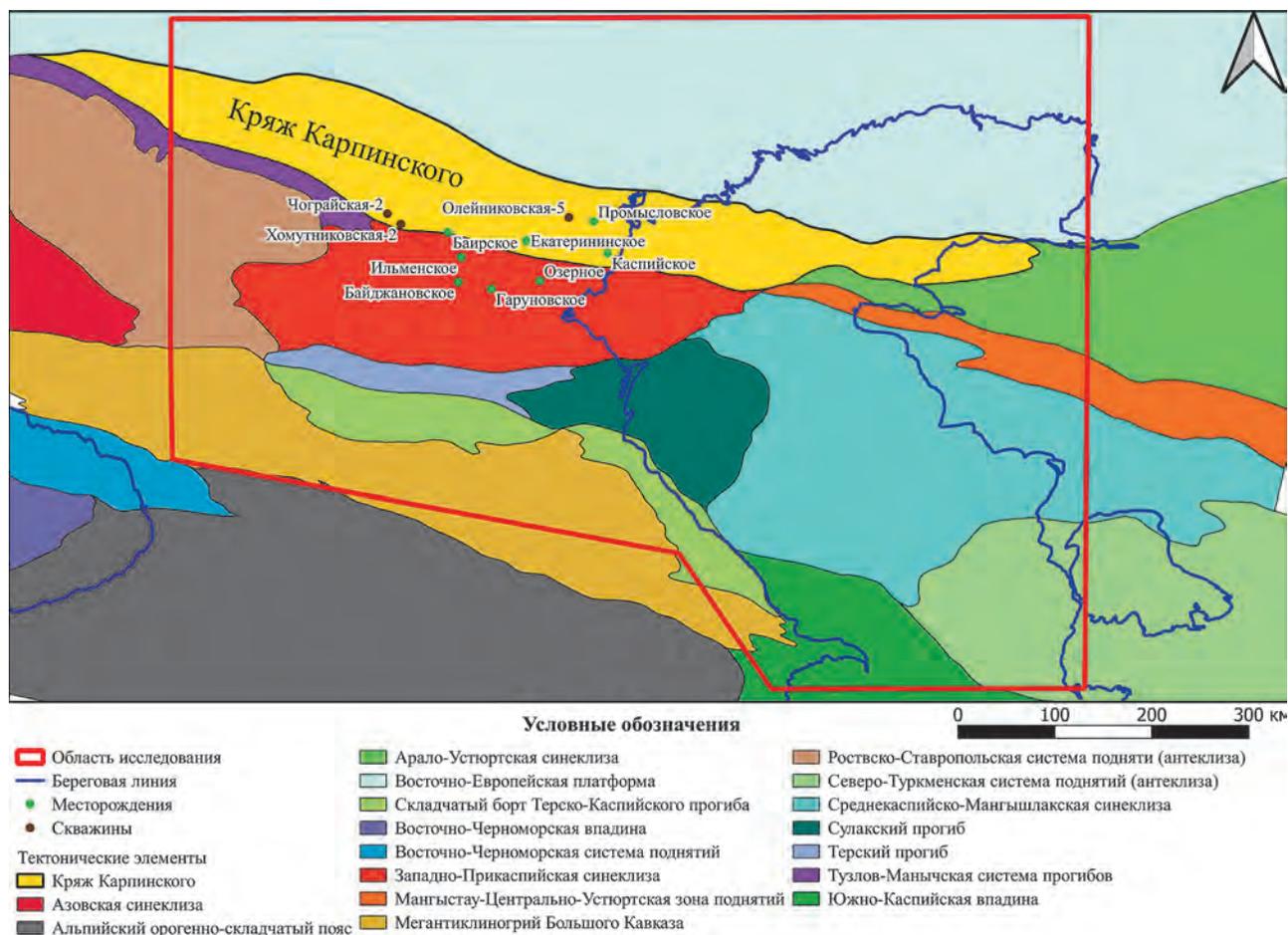


Рис. 1. Обзорная схема района работ на тектонической основе [1]

Fig. 1. Overview of research area on a tectonic basis [1]

комплексом, состоящим из образований девона, карбона, перми и триаса. В породах переходного комплекса существенную долю занимают карбонатные отложения.

### Материалы и методы

Для решения поставленных задач в процессе проведенных исследований сформирована трехмерная цифровая структурная модель осадочного чехла и переходного комплекса Восточного Предкавказья, включающая все поверхности несогласия, соответствующие значимым этапам развития переходного комплекса и осадочного чехла (рис. 2). В переходном комплексе выделяются следующие несогласия: в подошве и кровле девонских отложений, вблизи кровли каменноугольной, пермо-триасовой и верхнетриасовой систем. В осадочном чехле крупные несогласия соотносятся с кровлей нижней, средней, верхней юры, нижнего и верхнего мела, палеоцен-эоцена, майкопа, подошвой среднего миоцена, сарматского яруса, нижнего плиоцена, акчагыльского яруса и квартера.

Для построения трехмерной геологической модели использовались структурно-тектонические карты разновозрастных поверхностей по материалам, разработанные коллективом специалистов ВСЕГЕИ и ГИН РАН (Антипов М.П., Быкадоров В.А., Волож Ю.А., Курина Е.Е., Патина И.С., Постникова И.С., Сапожников Р.В., Хераскова Т.Н., 2017), карты толщин слоев, опубликованные в монографии

«Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря» (Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В., 2004), скважинные данные, а также опубликованные и фондовые материалы, характеризующие геологическое строение изучаемой территории [1, 4—16].

В процессе подготовки структурного каркаса модели оцифровывались изолинии структурно-тектонических карт и толщин в программном комплексе (ПК) Qgis. Карты из разных источников согласовывались между собой и трансформировались в grids поверхностей в ПК Petrel. Контроль качества полученных grids осуществлялся с использованием скважинных отбивок и данных по месторождениям. Кроме того, на основании Государственной геологической карты (L38, L39 масштаба 1:2 500 000) в модели учитывались области отсутствия и выходы отложений на поверхность. Таким образом, сформированная структурная модель включает 17 поверхностей: кровля и подошва квартера, подошва акчагыльского, плиоценового, сарматского ярусов, кровля и подошва майкопской серии, подошва палеогена (кровля мела), кровля нижнего мела, верхней, средней и нижней юры, кровля средне-верхнего триаса, пермо-триаса, каменноугольной системы, кровля и подошва девонской системы.

Реконструкция палеогеографических обстановок выполнена на основании анализа карт толщин с привлечением результатов изучения пород в скважинах, а также ранее выполненных региональных

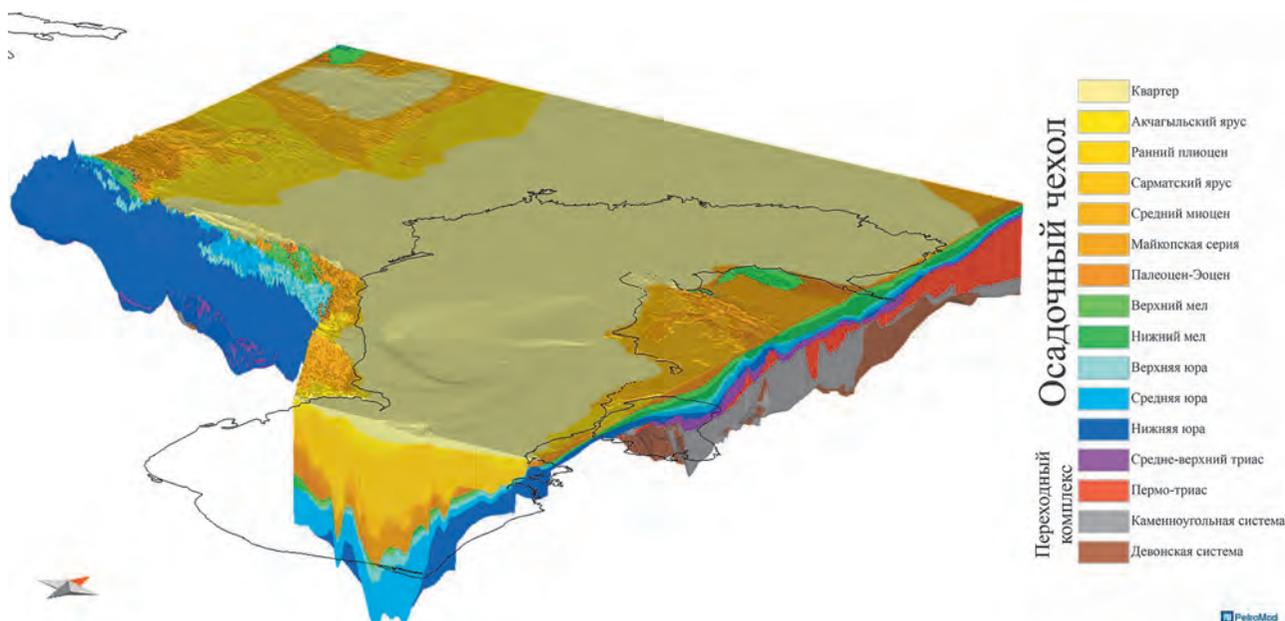


Рис. 2. Трехмерная геологическая модель Восточного Предкавказья  
Fig. 2. 3D geological model of the Eastern Ciscaucasia

построений [2, 4, 13], фондовых и опубликованных источников [1, 4—16]. В процессе проведения бассейнового анализа для каждого этапа развития переходного комплекса выделялись депоцентры осадконакопления и анализировались скорости седиментации.

### Результаты

#### **Структурно-тектоническая характеристика отложений переходного комплекса**

В пределах изучаемой территории отложения девонской системы распространены преимущественно в северной и, частично, в центральной части Восточного Предкавказья. В тектоническом отношении области распространения принадлежат Восточно-Европейской платформе, кряжу Карпинского, Западно-Прикаспийской и Среднекаспийско-Мынгышлакской синеклизам, а также Терско-Каспийскому прогибу (рис. 3). На юге, в районах Мегантиклинория Большого Кавказа, Южно-Каспийской впадины и Северо-Туркменской системы поднятия, девонские породы отсутствуют. Максимальные толщины отложений девона отмечаются в пределах

Восточно-Европейской платформы, где они достигают 8500 метров. Формирование девонского комплекса происходило медленно: средняя скорость осадконакопления составляла 1 см/тыс. лет. Наиболее высокие скорости, достигающие 8 см/тыс. лет, отмечаются на севере изучаемой территории в пределах Восточно-Европейской платформы (рис.4).

Породы каменноугольной системы распространены более широко по сравнению с подстилающими девонскими (рис. 5). Они отсутствуют только в южной части исследуемой территории. Максимальные толщины отложений, достигающие 20 000 метров, приурочены к двум крупным палеопрогибам, один из которых расположен в пределах кряжа Карпинского, второй — в пределах Западно-Прикаспийской синеклизы и Сулакского прогиба. Для отложений каменноугольной системы характерны очень высокие — до 68 см/тыс. лет скорости осадконакопления, что отличает их от остальных осадочных комплексов. (рис. 6).

Пермо-триасовый комплекс, включающий отложения перми и нижнего триаса (рис. 7), распространен преимущественно в северо-восточной

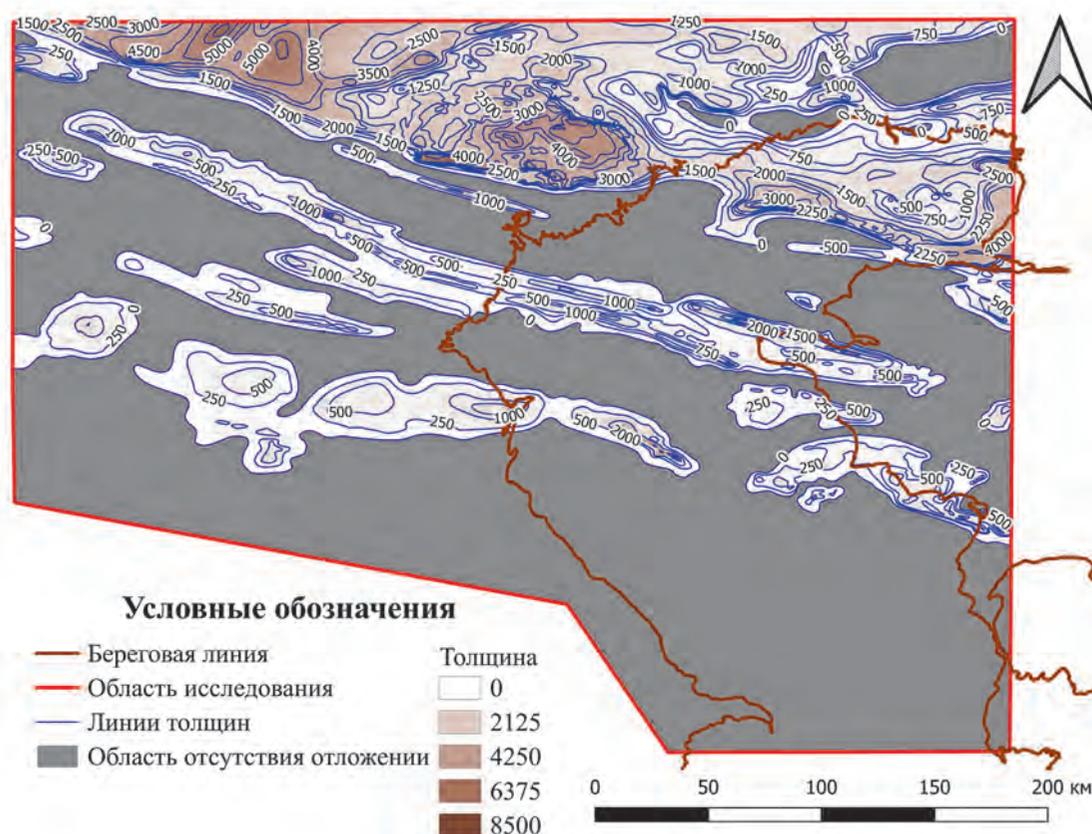


Рис. 3. Карта толщин девонских отложений  
Fig. 3. Thickness map of Devonian deposits

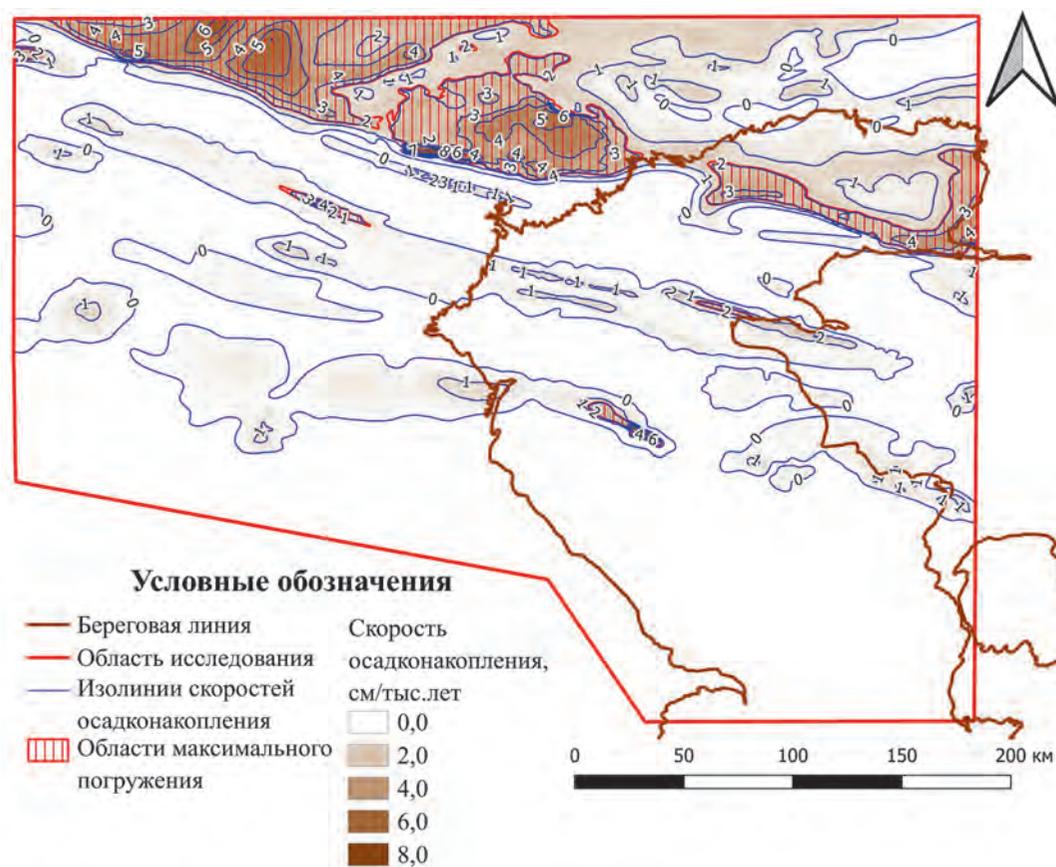


Рис. 4. Карта скорости осадконакопления девонских отложений

Fig. 4. Sedimentation rate map of Devonian deposits

части изучаемого региона. В тектоническом отношении эти территории принадлежат Восточно-Европейской платформе, кряжу Карпинского, Арало-Устюртской синеклизе, северной части Западно-Прикаспийской синеклизы. На юге и юго-западе, за исключением отдельных локальных областей, отложения комплекса отсутствуют. Максимальная толщина отложений пермо-триаса, достигающая 10 000 метров, приурочена к центральной и восточной частям кряжа Карпинского. Значительные мощности отмечаются также в пределах Восточно-Европейской платформы. Скорости осадконакопления существенно варьируют в пределах изучаемой территории от первых единиц до 31 см/тыс. лет (рис. 8).

Отложения средне-верхнего триаса в целом широко распространены в пределах изучаемой территории. При этом отмечается значительная дифференциация в латеральном распределении толщин этого комплекса (рис. 9). Области отсутствия отложений наблюдаются на юге, в пределах мегантиклинория Большого Кавказа, Северо-Туркменской

системы поднятий и Южно-Каспийской впадины, а также в пределах северо-западной части кряжа Карпинского. Максимальная толщина отложений среднего-верхнего триаса не превышает 3000 метров, при этом области повышенных мощностей распространены преимущественно в акватории Каспия. На сопредельной суше Восточного Предкавказья толщины этой части разреза в основном не превышают 500 м. Накопление осадков происходило достаточно медленно, скорость осадконакопления достигает 1 см/тыс. лет. Наиболее высокие скорости осадконакопления зафиксированы в акватории среднего и северного Каспия, где они достигают значений 6 см/тыс. лет (рис. 10).

В результате проведенного анализа выделены области устойчивого прогибания — территории, в пределах которых нисходящие движения сохранялись на нескольких тектонических этапах развития (рис. 11).

На севере в пределах Восточно-Европейской платформы погружение продолжалось в течение

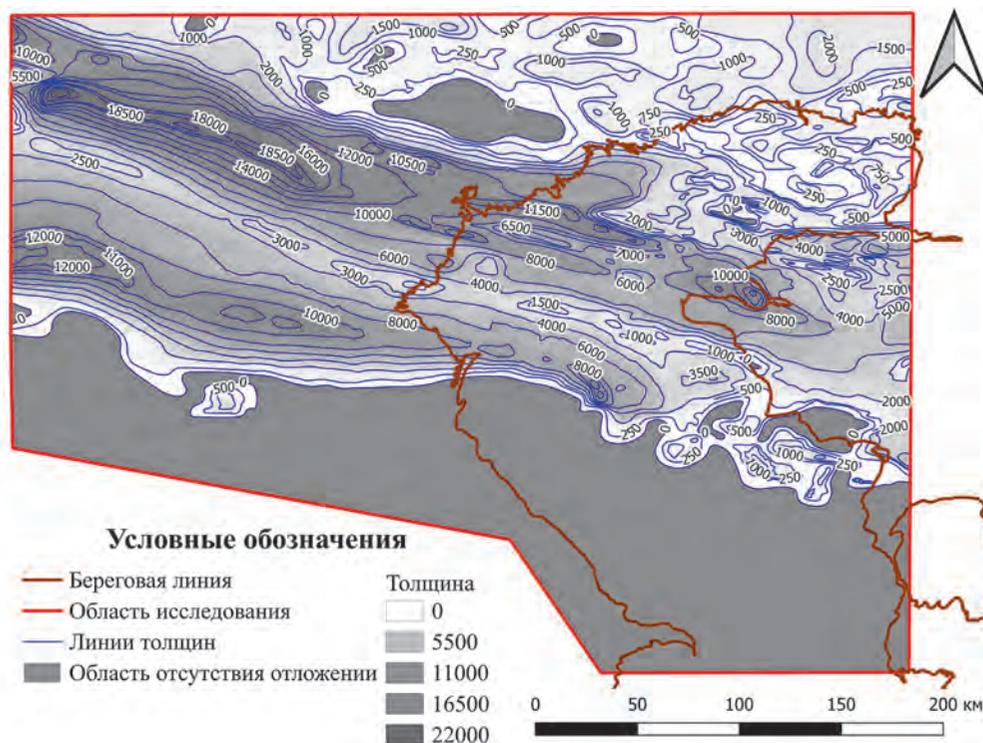


Рис. 5. Карта толщин каменноугольных отложений  
 Fig. 5. Thickness map of Carboniferous deposits

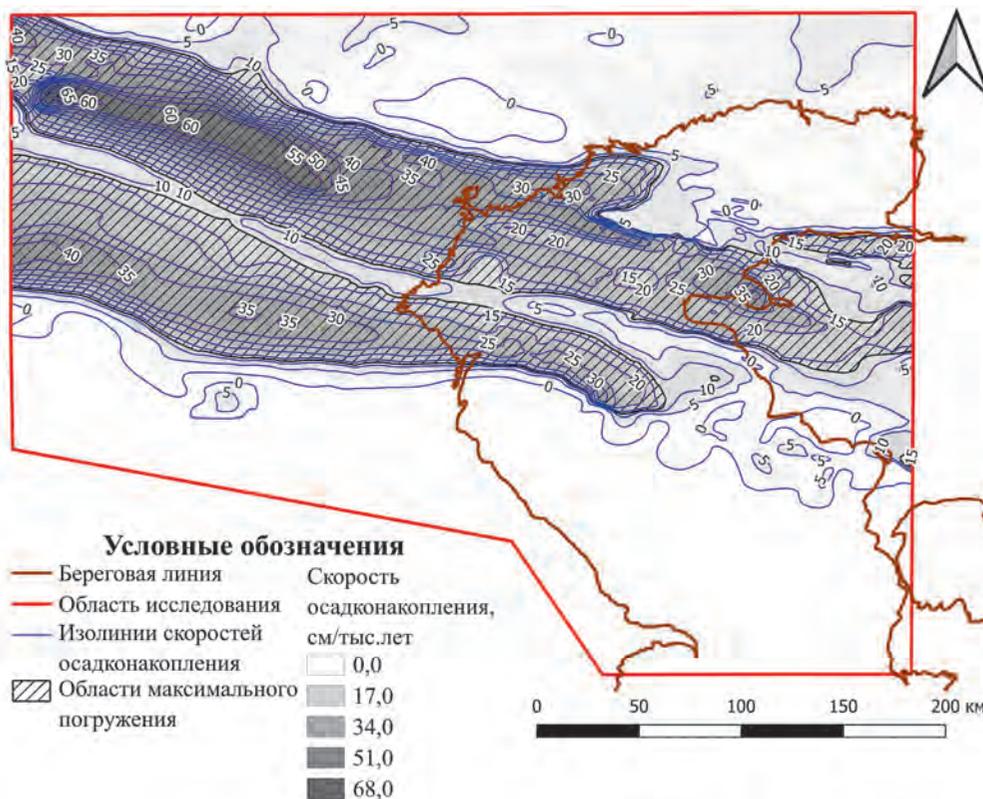


Рис. 6. Карта скоростей осадконакопления каменноугольных отложений  
 Fig. 6. Sedimentation rate map of Carboniferous deposits

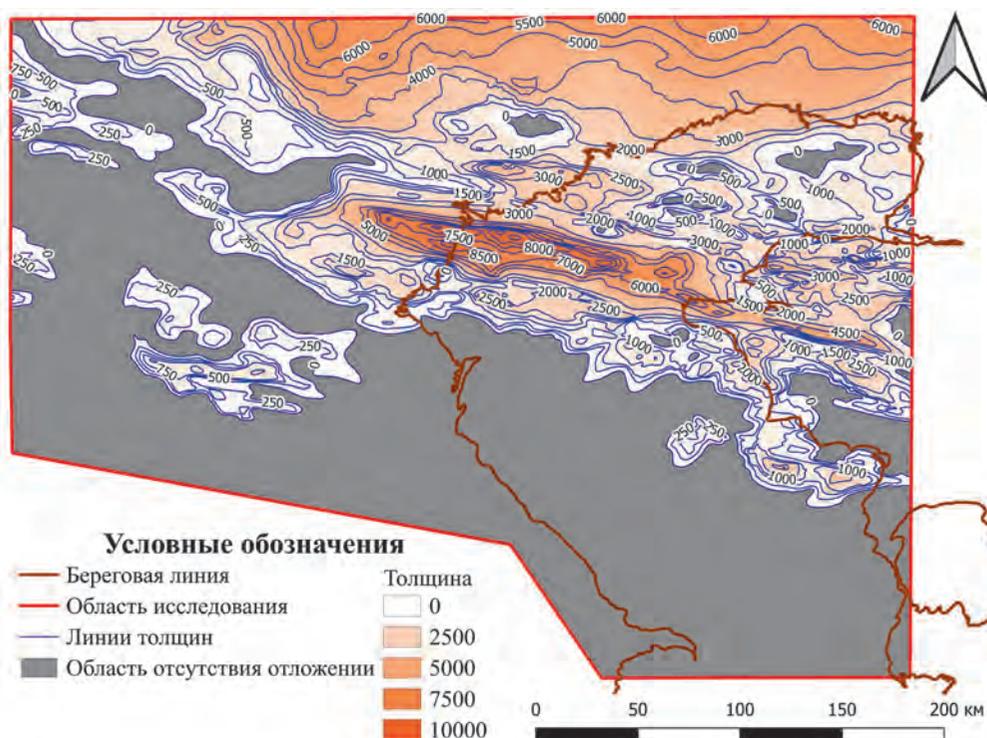


Рис. 7. Карта толщин пермо-триасового комплекса

Fig. 7. Thickness map of Permian-Triassic deposits

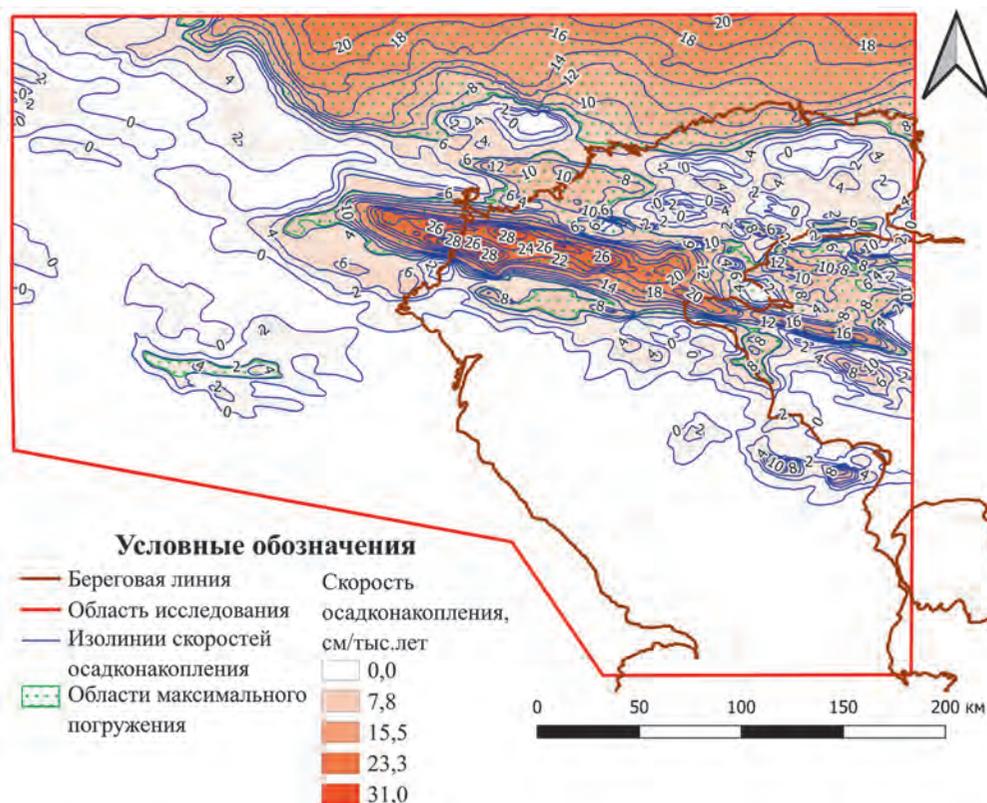


Рис. 8. Карта скоростей осадконакопления пермо-триасового комплекса

Fig. 8. Sedimentation rate map of Permian-Triassic deposits

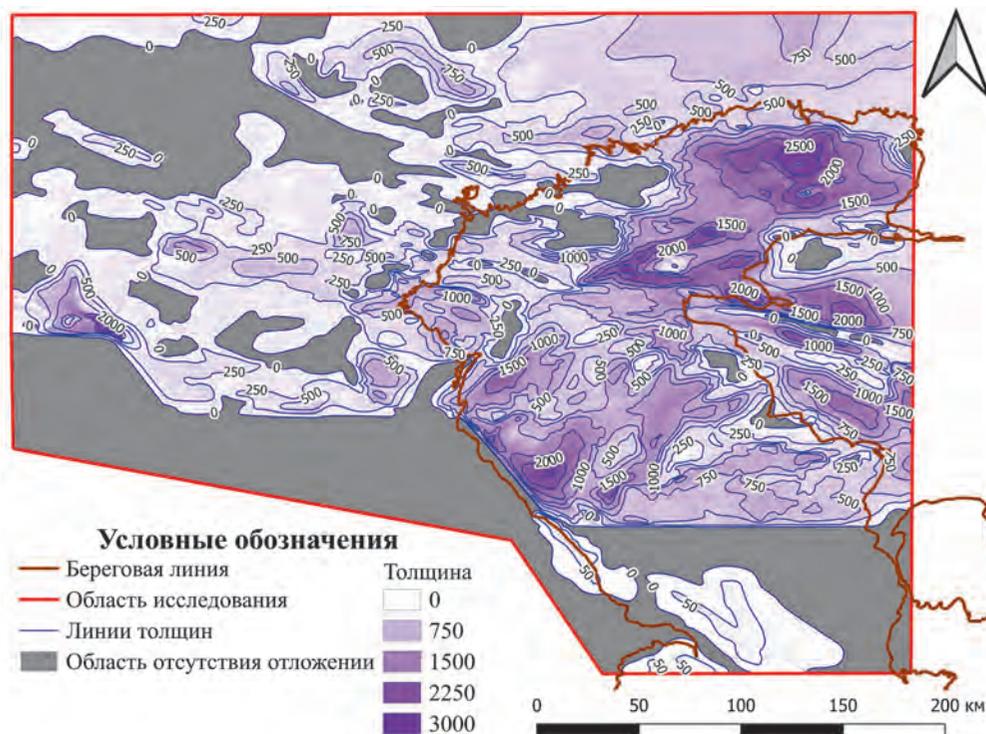


Рис. 9. Карта толщин средне-верхнетриасовых отложений  
 Fig. 9. Thickness map of Middle-Upper Triassic deposits

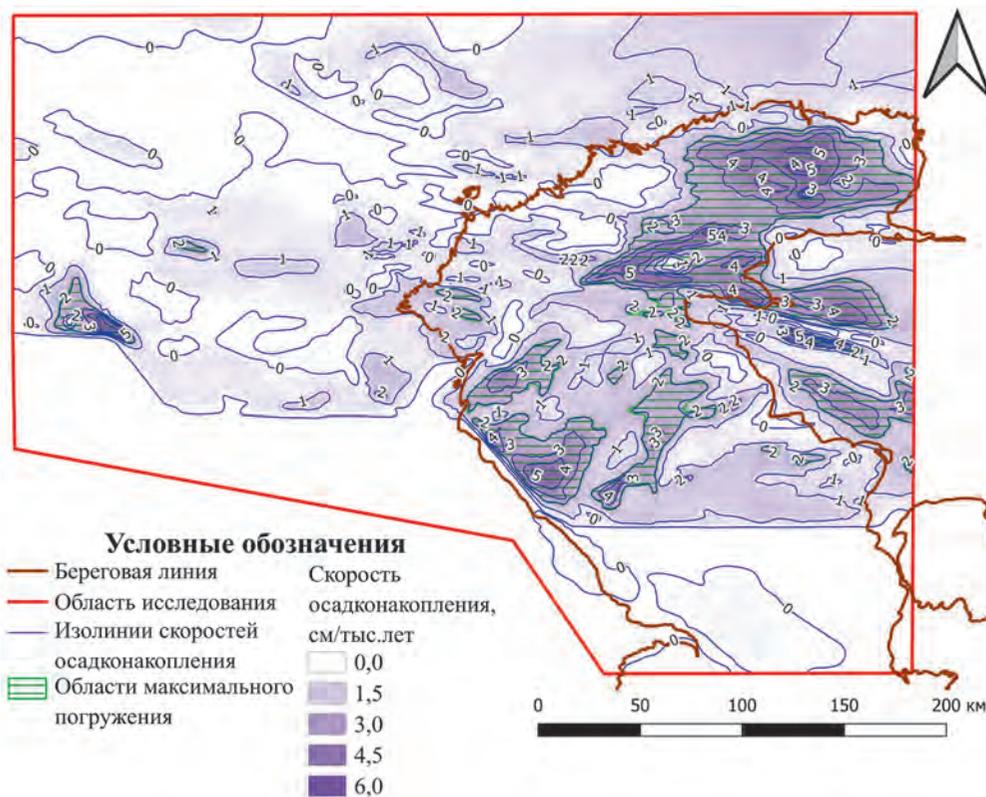
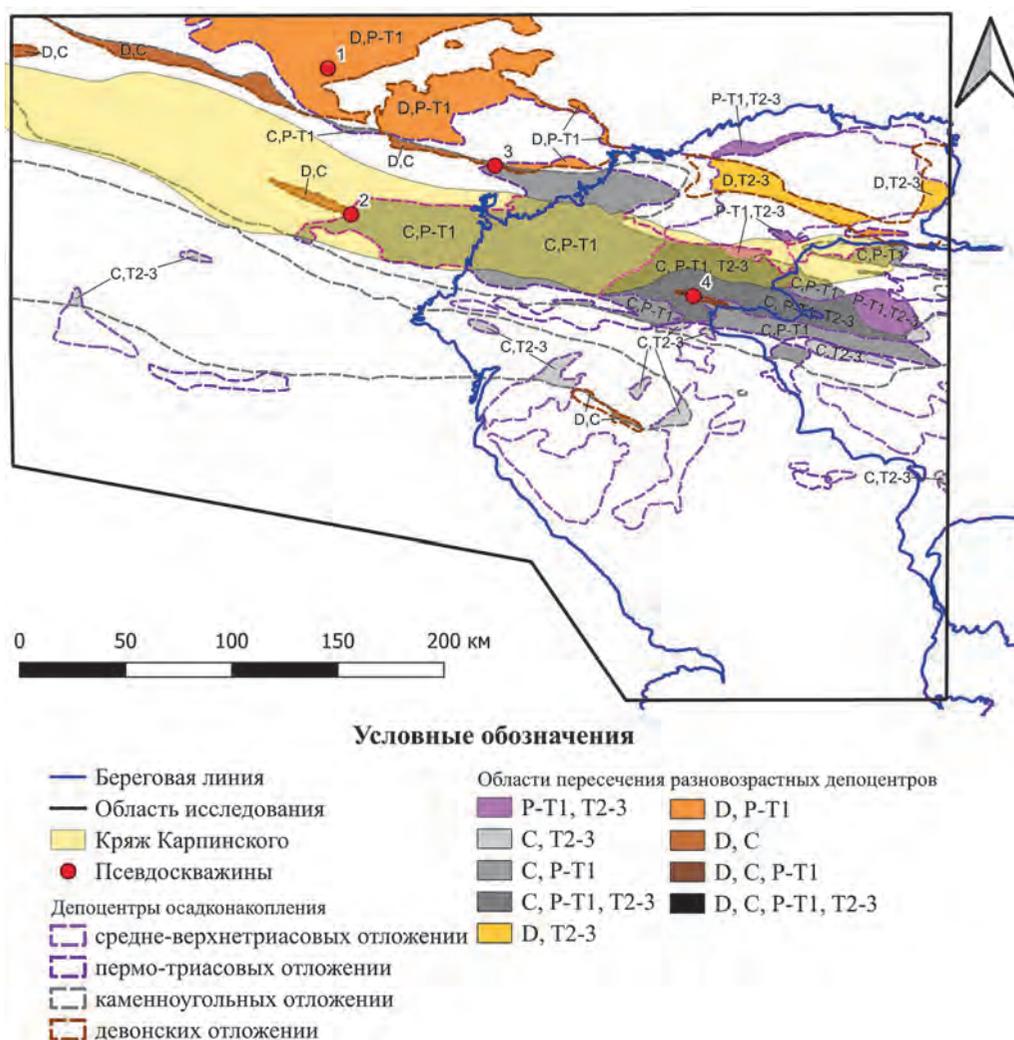


Рис. 10. Карта скоростей осадконакопления средне-верхнетриасовых отложений  
 Fig. 10. Sedimentation rate map of Middle-Upper Triassic deposits

девона, и затем, после перерыва, — в течение перми и раннего триаса. В акватории северного Каспия также выделяется небольшая территория с погружением в девоне и среднем триасе. В пределах Кряжа Карпинского основное погружение и осадконакопление соотносятся с каменноугольным периодом. Затем депоцентры осадочных позднепалеозойских и триасовых бассейнов последовательно смещаются в юго-восточном направлении. Поэтому область устойчивого погружения сопряжена только с восточной частью кряжа, расположенной в акватории. В целом из-за пульсирующего и неравномерного погружения в период формирования переходного комплекса в пределах изучаемой территории существовали не очень благоприятные условия для образования и развития углеводородных систем.

На рисунке 12 представлены геоисторические диаграммы, отражающие высокую интенсивность и значительную дифференцированность тектонических движений в палеозое — раннем мезозое в пределах изучаемой территории.

Анализ графиков погружения показывает, что в каменноугольный период в пределах кряжа Карпинского существовал крупный осадочный бассейн с лавинной седиментацией. Вытянутая форма бассейна может указывать на его рифтовое происхождение, что согласуется с выводами, сделанными ранее В.В. Пыхаловым и Б.Г. Вобликовым [1, 2, 16]. Отмеченная выше миграция депоцентров в юго-восточном направлении характеризует особенности эволюции бассейна: последовательное его закрытие в период с конца карбона по средний триас (рис. 12).



**Рис. 11.** Карта областей устойчивого прогибания переходного комплекса с депоцентрами осадконакопления  
**Fig. 11.** Map of areas of stable deflection of the transition complex with sedimentation depots

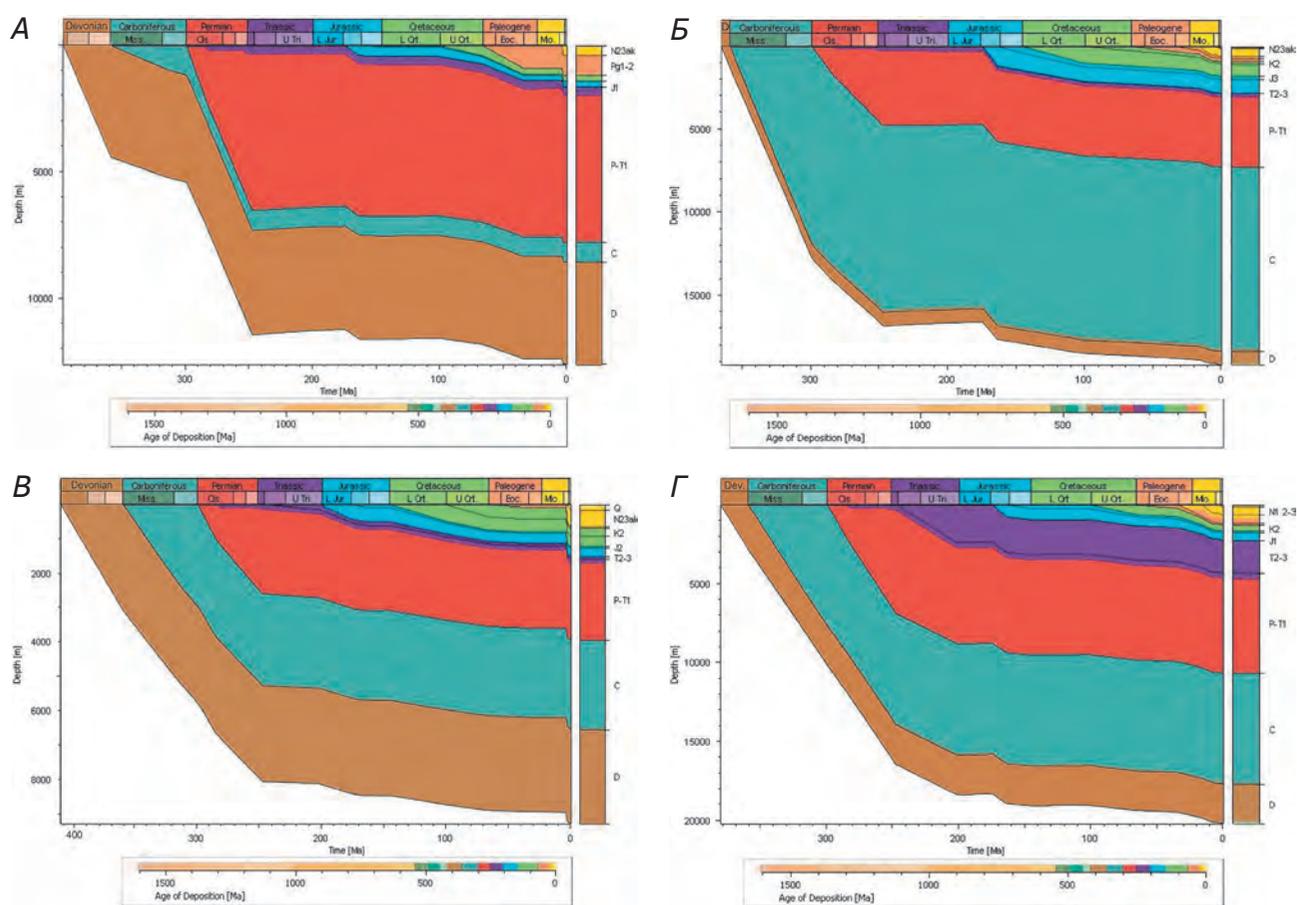


Рис. 12. Геоисторические диаграммы областей устойчивого погружения: А — в точке 1; Б — в точке 2; В — в точке 3; Г — в точке 4. Расположение точек см. на рисунке 11

Fig. 12. Geohistorical diagrams of areas of stable deflection: А — at point 1; Б — at point 2; В — at point 3; Г — at point 4. Location of the points see Figure 11

К северу от кряжа Карпинского, на территории, входящей в состав Восточно-Европейской платформы, основной этап погружения соотносится с пермо-триасом.

#### Палеогеографические обстановки формирования переходного комплекса

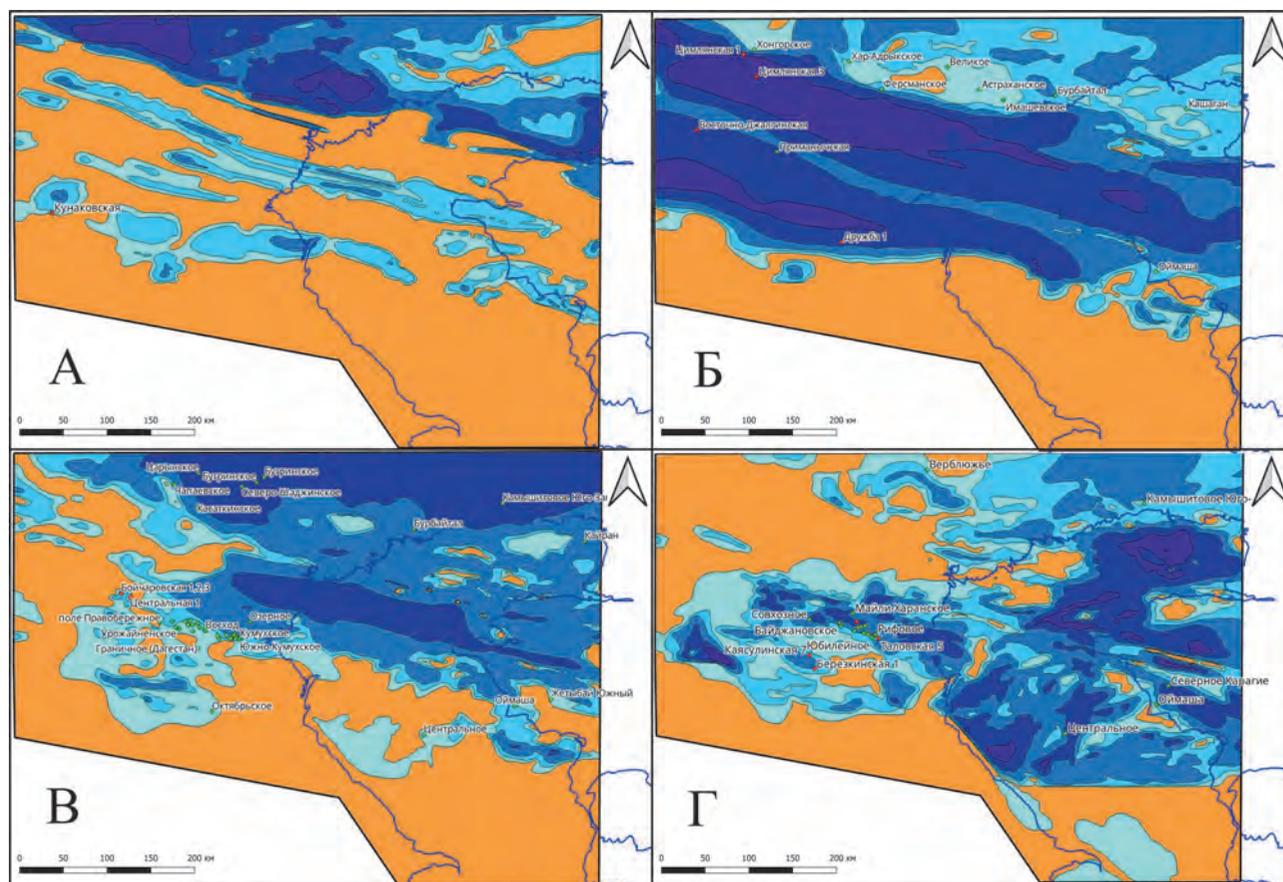
Описанные особенности тектонического режима изучаемой территории в значительной степени определили палеогеографические условия формирования переходного комплекса (рис. 13А—Г).

Как показали проведенные исследования, к концу девонского периода на большей части изучаемой территории были распространены континентальные обстановки (рис. 13А). Небольшие вытянутые в субширотном направлении относительно мелководные морские бассейны существовали в центральной и южной частях района работ. Крупный глубоководный морской бассейн располагался к северу от кряжа Карпинского. Области,

характеризующиеся наиболее высокими скоростями осадконакопления, образуют цепочку глубоководных впадин, вытянутую вдоль его южного борта.

В карбоне по сравнению с предыдущим этапом развития произошла трансгрессия в регионе, в результате чего существенно увеличилась территория морского бассейна. При этом погружение на севере изучаемой территории замедлилось или даже сменилось поднятиями в отдельных частях. Субширотные области прогибания, заложенные еще в девоне, трансформировались в крупный бассейн с двумя вытянутыми депоцентрами. Континентальная суша сохранилась в южной части района исследований (рис. 13Б).

К концу палеозоя в регионе произошла очередная тектоническая перестройка. Значительно увеличилась область суши, которая распространилась на всю южную и юго-западную часть изучаемой территории. В пределах Восточного Предкавказья,



### Условные обозначения

- |                        |                                |
|------------------------|--------------------------------|
| — Береговая линия      | Палеогеографические обстановки |
| — Область исследования | Наземные: области денудации    |
| Контрольные точки      | Морские: Литораль              |
| ● Месторождения        | Морские: Сублитораль           |
| ● Скважины             | Морские: Верхняя батияль       |
|                        | Морские: Средняя батияль       |
|                        | Морские: Нижняя батияль        |

**Рис. 13.** Карта палеогеографических обстановок: А — в девонский период; Б — в каменноугольный период; В — в премо-триасовый период; Г — в средне-верхнетриасовый период

**Fig. 13.** Map of paleogeographic conditions: А — in the Devonian period; Б — in the Carboniferous period; В — in the Permian-Triassic period; Г — in the Middle-Upper Triassic period

по-видимому, существовали несколько изолированных мелководных бассейнов. При этом возобновилось погружение на севере с образованием крупного депоцентра. Глубоководные условия сохранились также в восточной части одного из субширотных депоцентров, существовавших в каменноугольное время (рис. 13В).

В среднем-позднем триасе происходит смещение глубоководной области палеобассейна в восточном направлении — на территорию современного Каспийского моря. При этом на фоне разнонаправленных тектонических движений происходит дифференциация как в глубо-

ководных, так и в мелководных его доменах. Это привело к развитию многочисленных впадин различной ориентировки и глубины (рис. 13Г).

Опираясь на полученные результаты бассейнового анализа, а также учитывая ранее проведенные исследования [1, 2, 3], в качестве потенциальных нефтегазоматеринских толщ в пределах области исследования можно рассматривать отложения нефтекумской и култайско-демяновской свит нижнего триаса, кизлярской свиты среднего триаса, а также каменноугольные породы. Породы нефтекумской свиты, представленные карбонатными отложениями, имеют потенциал

для генерации преимущественно жидких углеводородов. Култайско-демяновская и кизлярская свиты, сложенные терригенно-карбонатными породами, способны производить жидкие и газообразные углеводороды. Породы каменноугольной системы можно рассматривать как потенциальную сланцевую НГМТ в глубоководной части палеозойского разреза.

Резервуарные толщи для нефтекумской и култайско-демяновской потенциальных НГМТ прогнозируются в составе нижнетриасовых отложений, включая нефтекумские биогермные образования. В составе отложений среднего и верхнего триаса распространены проницаемые породы, которые могут служить резервуарами для кизлярской потенциальной НГМТ. Присутствие резервуаров в разрезе прогнозируется на основании выполненных палеогеографических реконструкций и подтверждается промышленным насыщением отложений на месторождениях Молодежное, Раздольное, Таловское, Юбилейное и др. (для нижнего триаса и нефтекумской свиты), а также на месторождениях Сухокумское, Сайгачное, Совхозное, Гаруновское и др. (для средне-верхнего триаса).

Наличие между нижним и средним триасом регионального флюидоупора, проходящего по подошве анизийского яруса, может указывать на наличие двух самостоятельных углеводородных систем, питающих разновозрастные резервуарные толщи триасовых отложений [2].

Глубоководные каменноугольные отложения можно рассматривать как сланцевую толщу, которая, вероятно, формирует нетрадиционную генерационно-аккумуляционную систему. На это указывают результаты бурения, выполненного на территориях, расположенных к юго-западу от кряжа Карпинского. В частности, скв. 2 — Восточно-

Джалгинская, вскрывшая глинистые сланцы с отчетливым запахом нефти, скв. 1 — Александровская при испытании глинистых сланцев верхнего карбона дала приток углеводородного газа, скв. 1 — Приманычской был получен приток густой парафинистой нефти с буровым раствором [1]. Эти факты согласуются с результатами выполненных в рамках настоящего исследования палеогеографических реконструкций, в соответствии с которыми отложения каменноугольного периода накапливались в глубоководных обстановках средней и нижней батиали.

### Заключение

Тектонические перестройки на рубеже девона и карбона, а также в пермо-триасе обусловили смену палеогеографического режима в пределах Восточного Предкавказья. Преимущественно континентальные обстановки осадконакопления в условиях региональной регрессии существовали в девоне, а также в конце перми — начале триаса. Преимущественно морские обстановки были развиты в каменноугольное время и среднем-позднем триасе.

Комплексный анализ результатов изучения пород в скважинах, геохимических исследований и проведенных палеогеографических реконструкций послужил основой для прогнозирования элементов углеводородных систем в составе отложений переходного комплекса. Показано, что в триасовых отложениях существуют две классические потенциальные независимые ГАУС с НГМТ в отложениях нефтекумской и култайско-демяновской свит нижнего триаса, а также в отложениях кизлярской свиты среднего триаса. Каменноугольная сланцевая толща, вероятно, формирует потенциальную нетрадиционную ГАУС.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Вобликов Б.Г.* Тектоника и природные резервуары глубоководных отложений мезозоя и палеозоя центрального и восточного Кавказа и Предкавказья в связи с перспективами нефтегазоносности: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.12. Ставрополь, 2006, 473 с.
2. *Волкова П.А., Лавренова Е.А., Левицкая М.С., Суюмбаев Т.Н.* Нефтегазоматеринские толщи триасовых отложений Восточного Предкавказья. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2023. № 65(1). С. 55—66.
3. *Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В.* Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. 342 с.
4. *Жингель В.А., Ярошенко А.А., Бембеев В.А., Бембеев Б.Э., Бембеев Э.Э., Бембеев А.В.* Основные приоритеты новых направлений поисковых работ и перспективы нефтегазоносности триасовых отложений кряжа Карпинского. М.: АООН «НАЭН», 2004.
5. *Керимов В.Ю., Авербух Б.М., Мильничук В.С.* Тектоника северного Каспия и перспективы нефтегазоносности. Советская геология. 1990. № 7. С. 23—30.
6. *Керимов В.Ю., Лавренова Е.А., Круглякова М.В., Горбунов А.А.* Перспективы нефтегазоносности п-ова Крым и западного побережья Азовского моря. Нефтяное хозяйство. 2014. № 9. С. 66—70.
7. *Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Лавренова Е.А., Романов П.А.* Закономерности размещения

- скопления углеводородов в мезо-кайнозойском комплексе Черноморско-Каспийского региона. SOCAR Proceedings Special. 2022. № 1. С. 1—15.
8. Керимов В.Ю., Рачинский М.З., Карнаухов С.М., Мустаев Р.Н. Геотемпературное поле Южно-Каспийского бассейна. Отечественная геология. 2012. №3. С. 18—24.
  9. Керимов В.Ю., Халилов Э.А., Мехтиев Н.Ю. Палеогеографические условия формирования Южно-Каспийской впадины в плиоценовую эпоху в связи с ее нефтегазоносностью. Геология нефти и газа. 1992. № 10. С. 5—8.
  10. Керимов В.Ю., Шилов Г.Я., Серикова У.С. Стратегия и тактика освоения углеводородных ресурсов на шельфе РФ. Нефть, газ и бизнес. 2014. № 7. С. 28—34.
  11. Пыхалов В.В. Новые данные о геодинамических особенностях формирования кряжа Карпинского. Вестник АГТУ. 2008, № 6(47) С. 96—101.
  12. Скрипнюк О.В. Геолого-геохимические условия нефтегазоносности мезозойских отложений зоны Маньчских прогибов и южного склона кряжа Карпинского: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.12. Краснодар, 2010, 190 с.
  13. Kerimov V.Yu., Bondarev A.V., Mustaev R.N. Estimation of geological risks in searching and exploration of hydrocarbon deposits. Oil Industry. 2017. No. 2017(8). P. 36—41.
  14. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Etirmishli G.D., Yusubov N.P. Influence of modgeodynamics on the structure and tectonics of the Black Sea-Caspian region. Eurasian Mining. 2021. No. 35(1). P. 3—8.
  15. Kerimov V.Yu., Osipov A.V., Mustaev R.N., Minligalieva L.I., Huseynov D.A. Conditions of formation and development of the void space at great depths. Oil Industry. 2019. No. 4. P. 22—27.
  16. Kerimov V.Yu., Shilov G.Ya., Mustayev R.N., Dmitrievskiy S.S. Thermobaric conditions of hydrocarbons accumulations formation in the low-permeability oil reservoirs of khadum suite of the Pre-Caucasus. Oil Industry. 2016. No. 2. P. 8—11.

## REFERENCES

1. Voblikov B.G. Tectonics and natural reservoirs of deep deposits of the Mesozoic and Paleozoic of the Central and Eastern Caucasus and Ciscaucasia in connection with the prospects for oil and gas potential: Cand. geol.-min. sci. diss.: 25.00.12. Stavropol, 2006, 473 p. (In Russ.).
2. Volkova P.A., Lavrenova E.A., Levitskaya M.S., Suyunbayev T.N. Triassic source rocks of the Eastern Ciscaucasia. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2023. No. 65(1). P. 55—66 (In Russ.).
3. Glumov I.F., Malovitsky Ya.P., Novikov A.A., Senin B.V. Regional geology and oil and gas potential of the Caspian Sea. Moscow: Nedra — Businesscenter LLC, 2004. 342 p. (In Russ.).
4. Zhingel. V.A., Yaroshenko. A.A., Bembeev V.A., Bembeev B.E., Bembeev E.E., Bembeev A.V. Main priorities of new directions of exploration works and prospects of oil and gas potential of Triassic deposits of Karpinsky Ridge. Moscow, AON "NAEN", 2004 (In Russ.).
5. Kerimov V.Yu., Averbukh B.M., Mil'nichuk V.S. Tectonics of the Northern Caspian and oil and gas potential. Soviet geology. 1990. No 7. pp. 23—30.
6. Kerimov V.Yu., Lavrenova E.A., Kruglyakova M.V., Gorbunov A.A. Oil and gas prospects of Crimea and west part of Azov Sea // Neftyanoe khozyaystvo — Oil Industry. 2014. No 9. pp. 66—70 (In Russian).
7. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Lavrenova E.A., Romanov P.A. Regularities of hydrocarbons accumulations in the Meso-Cenozoic complex of the Black Sea-Caspian region. SOCAR Proceedings Special. 2022. Issue 1. P. 1—15 (In Russ.).
8. Kerimov V.Yu., Rachinsky M.Z., Karnauhov S.M., Mustaev R.N. Geotemperature field of South-Caspian basin. Russian geology. 2012. No 3. pp. 18—24.
9. Kerimov V.Yu., Khalilov E.A., Mekhtiyev N.Yu. Paleogeographic conditions of formation of the South Caspian depression in the Pliocene epoch due to its oil and gas content. Geology of oil and gas. 1992. No. 10. pp. 5—8.
10. Kerimov V.Yu., Shilov G.Ya., Serikova U.S. Geological, technical and technological conditions of oil and gas development in the arctic shelf of Russia. 2014. No. 7. pp. 28—34.
11. Pykhalov V.V. New data on geodynamic features of the formation of Karpinsky range. Vestnik AGTU. 2008. No. 6(47). P. 96—101 (In Russ.).
12. Skripnyuk O.V. Geological and geochemical conditions of the oil and gas potential of the Mesozoic deposits of the Manych trough zone and the southern slope of the Karpinsky ridge: Cand. geol.-min. sci. diss.: 25.00.12. Krasnodar, 2010, 190 p.
13. Kerimov V.Yu., Bondarev A.V., Mustaev R.N. Estimation of geological risks in searching and exploration of hydrocarbon deposits. Oil Industry. 2017. No. 8. P. 36—41.
14. Kerimov V. Yu., Mustaev R.N., Etirmishli G.D., Yusubov N.P. Influence of modgeodynamics on the structure and tectonics of the black sea-caspian region. Eurasian Mining. 2021. No. 35(1). P. 3—8.
15. Kerimov V.Yu., Osipov A.V., Mustaev R.N., Minligalieva L.I., Huseynov D.A. Conditions of formation and development of the void space at great depths. Oil Industry. 2019. No. 4. P. 22—27.
16. Kerimov V.Yu., Shilov G.Ya., Mustayev R.N., Dmitrievskiy S.S. Thermobaric conditions of hydrocarbons accumulations formation in the low-permeability oil reservoirs of khadum suite of the Pre-Caucasus. Oil Industry. 2016. No. 2. P. 8—11.

**ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS**

Суюнбаев Темирболат — разработал концепцию статьи, интерпретировал полученные результаты, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Suyunbayev Temirbolat — developed the article concept, interpreted results, prepared the article text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Суюнбаев Темирболат** — инженер, аспирант кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: [tema.bolat.91@mail.ru](mailto:tema.bolat.91@mail.ru)

тел.: +7 (936) 140-95-37

SPIN-код: 9086-9059

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4053-8644>

**Suyunbayev Temirbolat** — engineer, post-graduate researcher at the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23 Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: [tema.bolat.91@mail.ru](mailto:tema.bolat.91@mail.ru)

tel.: +7 (936) 140-95-37

SPIN-code: 9086-9059

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4053-8644>



## ПРОГНОЗ ЭЛЕМЕНТОВ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И СМЕЖНЫХ СТРУКТУР ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Д.А. ПАВЕЛКИНА\*, К.А. ГУЗЕЕВА, И.С. АВДЕЕВА, И.С. УСТИНОВ

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В осадочном чехле северного обрамления Сибирской платформы и прилегающей акватории моря Лаптевых выявлены признаки нефтегазоносности, свидетельствующие о наличии активных генерационно-аккумуляционных углеводородных систем (ГАУС). Помимо установленной промышленной нефтегазоносности в пермском интервале разреза, многие исследователи связывают высокие перспективы на севере Сибирской платформы с рифейскими, вендскими и девонскими отложениями, однако бурением продуктивность этих интервалов разреза не подтверждена. Настоящее исследование направлено на оценку перспектив нефтегазоносности Хатангско-Ленского региона Сибирского сектора Российской Арктики и юго-западной части акватории моря Лаптевых, изучение которых в рамках единой модели приведет к пониманию развития осадочных бассейнов и включенных в их состав углеводородных систем.

**Цель.** Выявление эффективных углеводородных систем в разрезе зоны сочленения Сибирской платформы и смежных структур юго-западной части моря Лаптевых.

**Материалы и методы.** Анализ доступной опубликованной и фондовой информации с целью выявления элементов предполагаемых углеводородных систем. Картирование геохимических характеристик потенциальных нефтегазоматеринских толщ (НГМТ). Численное моделирование углеводородных систем и выделение эффективных очагов нефтегазогенерации. Количественная оценка углеводородного потенциала потенциальных НГМТ.

**Результаты.** Выделены две эффективные углеводородные системы в разрезе зоны сочленения Сибирской платформы и смежных структур юго-западной части моря Лаптевых: нижнекожевниковско-верхнекожевниковская и верхнеюрско-меловая системы.

**Заключение.** Вклад нижнекожевниковско-верхнекожевниковской ГАУС в нефтегазоносность Анабаро-Хатангского района и прибрежной части моря Лаптевых оценивается в ~5 млрд т УТ. Верхнеюрско-меловая система может обеспечить до 1,4 млрд т УТ углеводородов в юго-западной части Лаптевоморского шельфа, что позволяет связывать с акваторией высокие перспективы нефтегазоносности.

**Ключевые слова:** Хатангско-Ленский регион, море Лаптевых, нефтегазоматеринские толщи, углеводородные системы, оценка перспектив нефтегазоносности

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № АААА-А20-120092590017-4.

**Для цитирования:** Павёлкина Д.А., Гузеева К.А., Авдеева И.С., Устинов И.С. Прогноз элементов углеводородных систем зоны сочленения Сибирской платформы и смежных структур юго-западной части моря Лаптевых. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(2):47—59. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-47-59>  
EDN: [IYDZKZ](https://edn.ru/IDZKZ)

Статья поступила в редакцию 03.05.2025  
Принята к публикации 19.05.2025  
Опубликована 30.06.2025

\* Автор, ответственный за переписку

## FORECAST OF ELEMENTS OF PETROLEUM SYSTEMS IN THE JOINT ZONE OF THE SIBERIAN PLATFORM AND ADJACENT STRUCTURES IN THE SOUTHWESTERN PART OF THE LAPTEV SEA

DIANA A. PAVELKINA\*, KRISTINA A. GUZEYEVA, INNA S. AVDEEVA, ILYA S. USTINOV

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

### ABSTRACT

**Background.** Signs of oil and gas potential have been identified in the sedimentary cover of the northern rim of the Siberian Platform and the adjacent water area of the Laptev Sea. These signs indicate the presence of active generation and accumulation of petroleum systems. In addition to the established industrial oil and gas potential in the Permian section interval, the north of the Siberian platform is also associated with Riphean, Vendian, and Devonian deposits; however, drilling has not confirmed the productivity of these section intervals. The present study is aimed at assessing the oil and gas potential of the Khatanga-Lena region of the Siberian sector of the Russian Arctic and the southwestern part of the Laptev Sea. Their study within the framework of a single model can extend the understanding of the development of sedimentary basins and the petroleum systems included in their composition.

**Aim.** Identification of effective petroleum systems in the joint zone of the Siberian Platform and adjacent structures in the southwestern part of the Laptev Sea.

**Materials and methods.** Analysis of available published and stock information with the purpose of identifying elements of the assumed petroleum systems. Mapping of geochemical characteristics of potential oil and gas source rocks. Numerical simulation of petroleum systems and identification of effective zones of oil and gas generation. Quantitative assessment of the hydrocarbon potential of source rocks.

**Results.** Two effective petroleum systems have been identified in the joint zone of the Siberian Platform and adjacent structures of the southwestern part of the Laptev Sea. These include Lower Kozhevnik-Upper Kozhevnik and Upper Jurassic-Cretaceous systems.

**Conclusion.** The contribution of the Lower Kozhevnik-Upper Kozhevnik petroleum system to the oil and gas potential of the Anabaro-Khatanga region and the coastal part of the Laptev Sea is estimated at about five billion tons of hydrocarbons. The Upper Jurassic-Cretaceous system can provide up to 1.4 billion tons of hydrocarbons in the southwestern part of the Laptev Sea shelf, which makes it possible to associate high oil and gas potential with the water area.

**Keywords:** Khatanga-Lena region, Laptev Sea, source rock, petroleum systems, assessment of oil and gas potential

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosures:** The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No.AAAA-A20-120092590017-4.

**For citation:** Pavelkina D.A., Guzeyeva K.A., Avdeeva I.S., Ustinov I.S. Forecast of elements of petroleum systems in the joint zone of the Siberian platform and adjacent structures in the southwestern part of the Laptev sea. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(2):47—59. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-47-59>  
EDN: [IYDZKZ](https://www.edn.ru/1YDZKZ)

*Manuscript received 03 May 2025**Accepted 19 May 2025**Published 30 June 2025*

\* Corresponding author

**Введение**

С акваторией моря Лаптевых и сопредельными территориями Сибирской платформы связаны высокие перспективы нефтегазоносности [11, 12]. По оценкам специалистов ВНИГНИ на 2019 г. [3], в палеозойско-кайнозойских отложениях, предположительно входящих в состав промежуточного структурного этажа юго-западной части Лаптевоморской плиты, может быть сосредоточено около 5,5 млрд т УТ. На севере Сибирской платформы — в Хатангско-Ленском регионе, включающем Лено-Анабарский прогиб и Анабаро-Хатангскую седловину, — А.И. Варламов и А.П. Афанасенков прогнозируют 2,3 и 2,5 млрд т УТ, соответственно [2].

Помимо выполненных ВНИГНИ оценок ресурсного потенциала района исследования, на перспективность зоны сочленения указывают многочисленные признаки нефтегазоносности в осадочном разрезе Хатангско-Ленского региона. В скважинах Анабаро-Хатангского района обнаружены проявления нефти, газа и битумов в девонско-меловых отложениях [15], а также выявлен ряд месторождений, включая непромышленные и полупромышленные, такие как Кожевниковское, Ильинское, Нордвикское, Чайдахское и Южно-Тигянское, а также крупное промышленное месторождение — Центрально-Ольгинское [18, 21, 23]. В разрезе Лено-Анабарского прогиба промышленная нефтегазоносность не установлена, выявлены лишь газо- и битумопроявления в вендско-кембрийской и пермской частях разреза, включая Оленекское битумное поле [6, 15]. В акватории моря Лаптевых в результате работ ГНЦ ФГУП «Южморгеология» установлены косвенные признаки, указывающие на насыщение осадочного разреза.

Однако, несмотря на предполагаемую высокую перспективность северного обрамления Сибирской платформы и моря Лаптевых, регион остается малоизученным. Низкая степень понимания эволюции осадочных бассейнов и связанных с ними углеводородных систем во многом обусловлена тем, что исследования северного обрамления Сибирской платформы часто проводятся изолированно от прилегающей акватории.

На предыдущих этапах наших исследований [19] в результате анализа развития осадочных бассейнов зоны сочленения: реконструкций палеогеографических условий и установления депоцентров осадконакопления на каждом этапе развития осадочного чехла, было выявлено, что в определенные периоды осадочные бассейны зоны сочленения Сибирской платформы и сопредельных структур моря Лаптевых имели трансграничное положение. Поэтому рассмотрение этих элементов в рамках единой модели позволит эффективнее спрогнозировать развитие углеводородных систем и оценить перспективы нефтегазоносности изучаемого района.

**Характеристика объекта исследования**

Объект исследования включает юго-западную часть моря Лаптевых и сопредельную область суши, административно относящуюся к территории Республики Саха (Якутия) (рис. 1).

В тектоническом плане объект исследования принадлежит двум крупным структурам: Сибирской древней платформе и Лаптевоморской плите (молодой платформе), разделенным Верхояно-Колымской складчатой областью [5, 16, 22].

Сибирская древняя платформа имеет архейско-раннепротерозойский фундамент, а ее осадочный чехол выполнен отложениями широкого стратиграфического диапазона — от рифея до кайнозоя. Плитный чехол Лаптевоморской плиты сложен аптско-кайнозойскими осадочными образованиями, при этом палеозойско-мезозойские (доаптские) толщи, предположительно, слагают промежуточный структурный этаж в юго-западной части плиты [16].

В плане нефтегазогеологического районирования Хатангско-Ленский регион является частью Енисейско-Анабарской нефтегазоносной провинции, которая объединяет Анабаро-Хатангскую нефтегазоносную область и Лено-Анабарскую перспективно нефтегазоносную область. В то же время исследуемый участок моря Лаптевых выделен в отдельную самостоятельную перспективную нефтегазоносную область (СПНГО) — Лаптевоморскую [2].

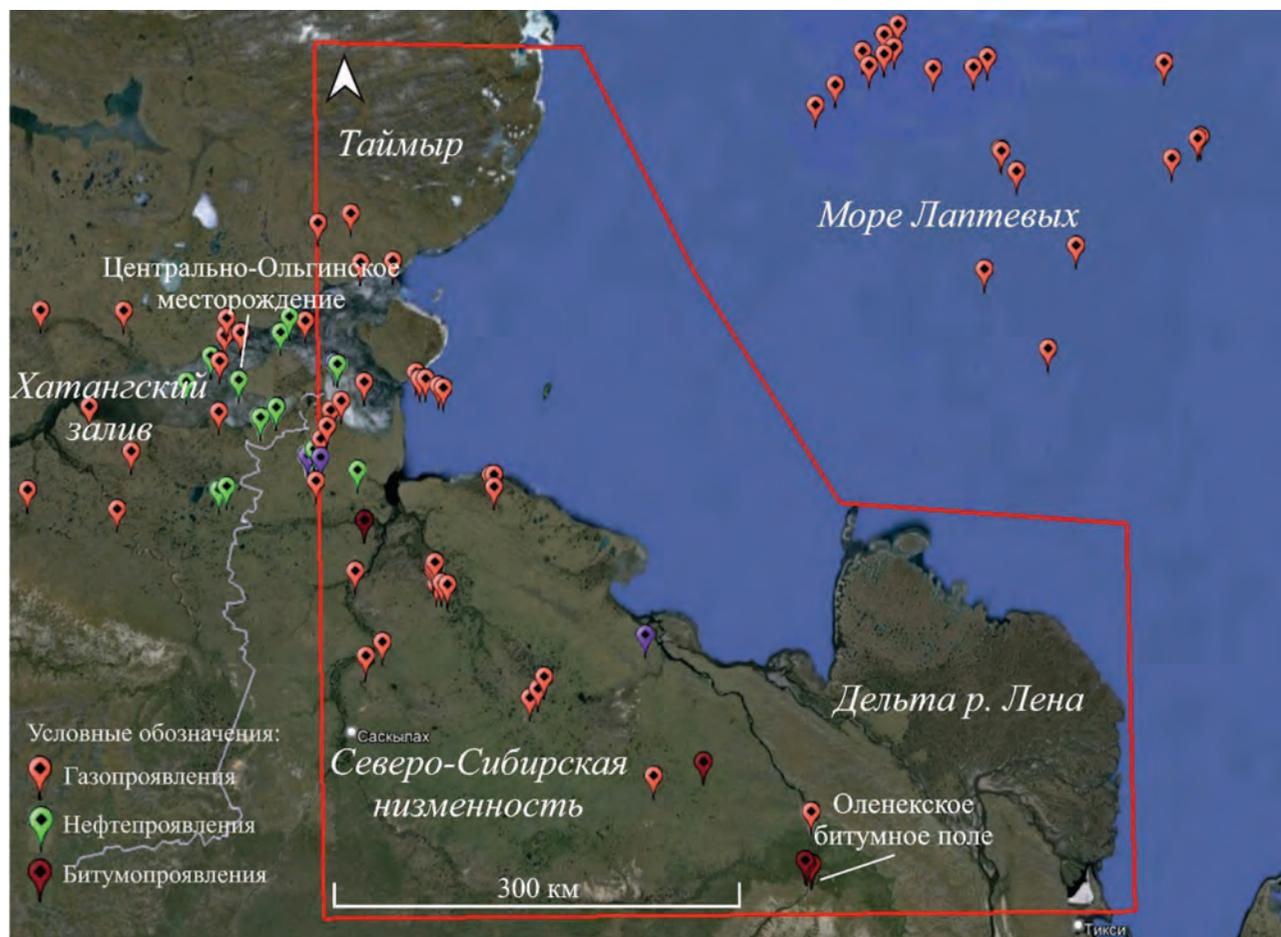


Рис. 1. Обзорная схема района  
Fig. 1. Overview of the studied area

### Материалы и методы исследования

Основой для установления углеводородных систем в разрезе зоны сочленения Сибирской платформы и смежных структур моря Лаптевых послужила региональная трехмерная модель, созданная по материалам опубликованных и фондовых источников информации: структурных построений специалистов ИНГГ СО РАН, ГНЦ ФГУП «Южморгеология», ОАО «Севморнефтегеофизика», геологических разрезов и карт листов S-49, S-50, S-51, S-52 [19].

Для выявления очагов нефтегазогенерации были построены схемы распространения предполагаемых НГМТ, которые основывались на выполненных в рамках прошлых работ палеогеографических реконструкциях и собранной базе данных результатов геохимических исследований [19]. При построении схем применялся принцип экстраполяции усредненных, восстановленных с учетом зрелости и типа органического вещества

(ОВ) геохимических данных с контрольных точек (обнажений, скважин) на всю палеогеографическую обстановку, к которой эти пункты принадлежат. Данный принцип обусловлен слабой изученностью территории и недостатком данных по акватории и базируется на предположении о том, что в схожих условиях осадконакопления формировались нефтегазоматеринские породы сходного состава. При отсутствии пунктов изучения геохимических параметров предполагалось улучшение свойств в дистальных зонах палеобассейна и ухудшение — в проксимальных.

В качестве очага нефтегазогенерации была выбрана зона распространения зрелой НГМТ, где на современном этапе зафиксированы ненулевые объемы эмигрировавших углеводородов (УВ). Впоследствии границы очагов корректировались на основе карт «критического момента» — параметра, отражающего временной этап в процессе генерации и миграции УВ, когда более 50%

УВ эмигрировало из НГМТ. Метод ориентирован на выявление зон, где активная миграция происходила после завершения основных структурных перестроек, так как более ранние залежи, вероятно, были разрушены.

Анализ эффективных ГАУС выполнен в соответствии с концепцией Магуна и Доу [26]. Согласно определению, ГАУС включает в себя очаг нефтегазогенерации и все генетически связанные с ним скопления УВ, а также все необходимые процессы (генерация, миграция, аккумуляция УВ, образование ловушек) и элементы (НГМТ, резервуар, флюидопор, перекрывающие толщи), оптимальное соотношение которых в пространстве и во времени обеспечивает формирование скоплений УВ в осадочном бассейне. ГАУС может быть идентифицирована на трех уровнях достоверности: доказанном, когда связь НГМТ — нефть установлена в результате биомаркерного анализа; гипотетическом, когда связь НГМТ — нефть не доказана, но многочисленные геохимические исследования подтверждают существование нефтегазоматеринской породы; а также умозрительном, при котором есть только геологические и геофизические признаки существования ГАУС. Каждая углеводородная система имеет уникальное название, которое включает в себя возраст НГМТ и резервуара, а также уровень достоверности. В конце названия ГАУС уровень достоверности обозначен символом (!) для доказанной, (.) для гипотетической и (?) для умозрительной систем.

### Результаты и обсуждение

На основании анализа всей доступной опубликованной и фондовой информации, включая выполненный бассейновый анализ [19], были выделены предполагаемые элементы углеводородных систем. Породы, обладающие нефтегазоматеринскими свойствами, прогнозируются в отложениях верхнего рифея, венда, девона, перми (тустахская, нижнекожевниковская и верхнекожевниковская свиты) и верхней юры. Резервуарные толщи на основании палеогеографических реконструкций, литологического состава отложений и выявленных признаков нефтегазоносности предполагаются в верхнерифейских, кембрийских, девонско-каменноугольных, пермских и меловых отложениях.

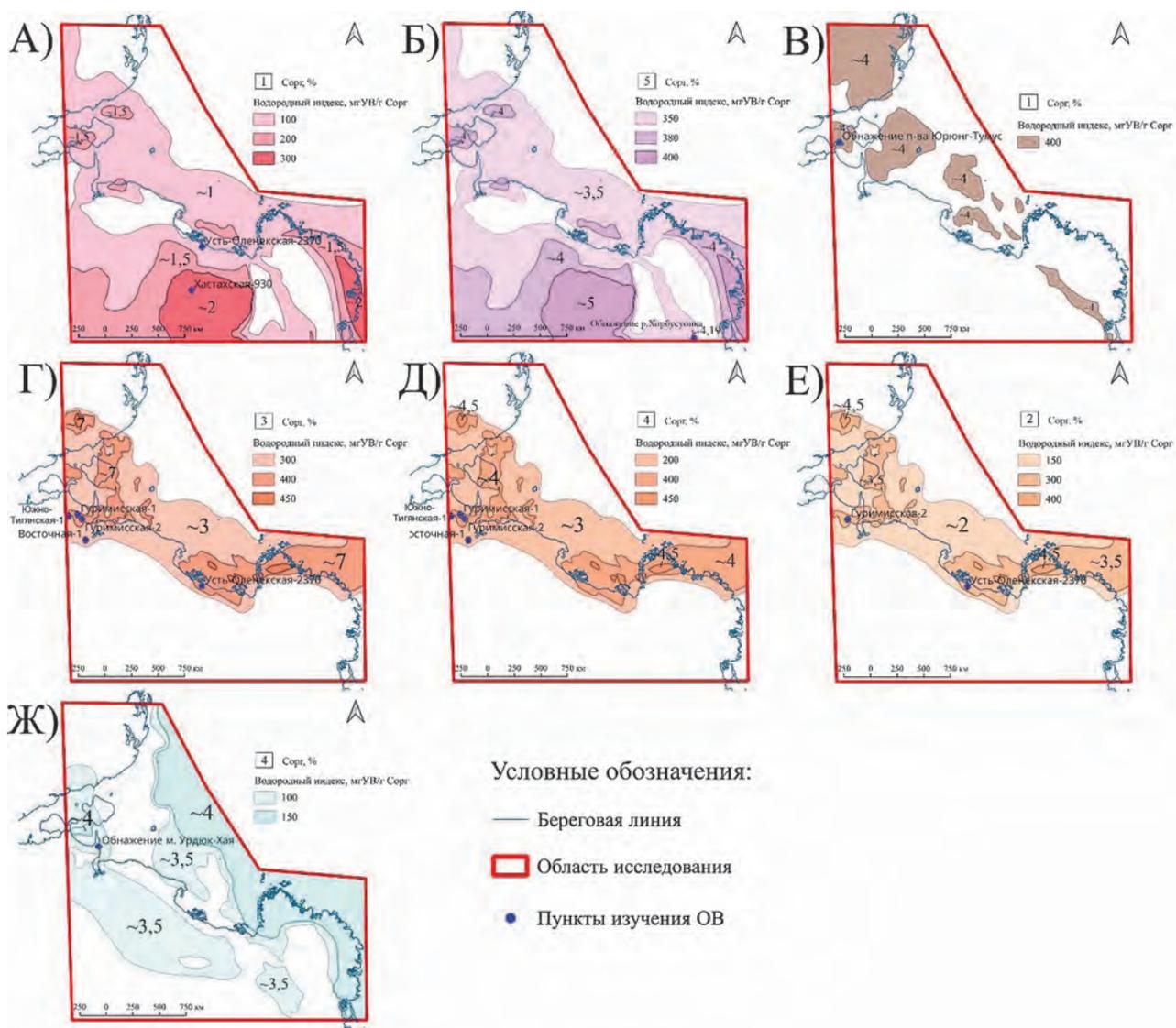
Верхнерифейская НГМТ широко распространена в исследуемом районе и в изученных скважинах (Усть-Оленекская и Хастахская) представлена аргиллитами, содержание органического углерода ( $C_{орг}$ ) в которых в среднем составляет 1%,

с углублением бассейна достигает 2%. Значение водородного индекса (НИ), восстановленного с учетом зрелости и типа ОВ, в этих породах может достигать 300 мгУВ/г  $C_{орг}$  [15, 19] (рис. 2А). Резервуары для этой части разреза прогнозируются в верхней карбонатной пачке верхнерифейских отложений, на что указывают притоки пластовой воды с растворенным газом при испытании скважин Бурская и Хастахская [13—15, 17].

Площадь распространения вендской НГМТ соотносится с распространением верхнерифейской НГМТ, однако качество органического вещества в этих породах лучше, судя по образцам глинистых известняков из обнажения р. Хорбусуонка [15, 19]. Значение  $C_{орг}$  в вендской НГМТ в среднем составляет 3,5%, водородного индекса — до 400 мгУВ/г  $C_{орг}$  (рис. 2Б). Углеводороды из вендской НГМТ могли концентрироваться в резервуаре кембрийского возраста, сложенным кавернозными и трещинными доломитами и известняками, что подтверждается выявленными в этих отложениях битумо- и газопроявлениями, а также притоками пластовой воды [13—15, 17].

Девонская НГМТ охарактеризована образцами известняков из обнажения п-ва Юрюнг-Тумус и может быть распространена не только в Анабаро-Хатангском районе, но и на п-ве Таймыр, и в юго-западной, прибрежной части акватории моря Лаптевых при условии, что девонские породы присутствуют в составе складчатого основания Лаптевоморской плиты. Содержание органического углерода и водородный индекс, восстановленные с учетом зрелости и типа ОВ, могут составлять:  $C_{орг}$  — около 4%, НИ — около 400 мгУВ/г  $C_{орг}$  [15, 19] (рис. 2В). Сведений о выявленных нефтегазопроявлениях в девонско-каменноугольной части разреза изучаемой площади до настоящего времени нет, за исключением единичного нефтепроявления в скважине Ильинская Анабаро-Хатангского района [15].

Область распространения пермских НГМТ (тустахской (рис. 2Г), нижнекожевниковской (рис. 2Д) и верхнекожевниковской (рис. 2Е)) протягивается от дельты р. Лена вдоль побережья моря Лаптевых к Хатангскому заливу. Пермский комплекс на северном обрамлении Сибирской платформы сложен чередованием песчаников, алевролитов и аргиллитов, последние характеризуются высоким  $C_{орг}$  (до 7% в тустахских отложениях и около 3—4% в нижне- и верхнекожевниковских) [1, 15, 19]. Значения восстановленного водородного индекса могут составлять 200—450 мгУВ/г  $C_{орг}$ . Резервуарными свойствами обладают песчаные



**Рис. 2.** Схемы распространения нефтегазоматеринских свойств отложений: А — верхнего рифея; Б — венда; В — девона; Г — тустахской свиты; Д — нижнекожевниковской свиты; Е — верхнекожевниковской свиты; Ж — верхней юры

**Fig. 2.** Schemes of distribution of oil and gas-bearing properties of sediments: А — Upper Riphean; Б — Vendian; В — Devonian; Г — Tustakh formation; Д — Lower Kozhevnik formation; Е — Upper Kozhevnik formation; Ж — Upper Jurassic

прослой всего пермского интервала, на что указывают многочисленные нефтегазопроявления, а также открытое Центрально-Ольгинское месторождение, в котором установлена продуктивность в нижнекожевниковских и верхнекожевниковских отложениях [15, 18, 20].

Верхнеюрские отложения, изученные в обнажении мыса Урдюк-Хая, представлены аргиллитами, значение  $C_{орг}$  в которых составляет в среднем 3,5%, с углублением бассейна достигая 4%. Водородный индекс составляет 100—150 мгУВ/г  $C_{орг}$  [7—9, 19] (рис. 2Ж). Верхнеюрская НГМТ широко распростра-

нена в юго-западной части моря Лаптевых и на севере Сибирской платформы. Резервуары для этой системы прогнозируются в меловых отложениях на основании выполненного сейсмофациального анализа и региональных палеогеографических реконструкций. В пробуренных скважинах не было установлено признаков, указывающих на продуктивность мелового комплекса, за исключением скв. Южно-Тигянская, по результатам опробования которой выявлены нефтепроявления [4, 15].

Таким образом, на основании бассейнового анализа в разрезе зоны сочленения Сибирской

платформы и смежных структур моря Лаптевых прогнозируются следующие углеводородные системы: верхнерифейская (?), вендско-кембрийская (?), девонско-каменноугольная (?), тустахско-нижнекежевниковская (.), нижнекежевниковско-верхнекежевниковская (.), верхнекежевниковско-верхнепермская (.), верхнеюрско-меловая (?) ГАУС (рис. 3).

Дальнейшее численное моделирование углеводородных систем позволило установить границы очагов нефтегазогенерации предполагаемых НГМТ (рис. 4).

Так, небольшие очаги генерации верхнерифейской и вендской НГМТ в тектоническом плане приурочены к Лено-Анабарскому прогибу и содержат зрелые, способные к генерации жидких УВ, породы (рис. 4А, Б). Очаги нефтегазогенерации девонской НГМТ расположены в акваториальной части района исследования и характеризуются небольшой площадью распространения. Зрелость девонской НГМТ в выделенных очагах высокая — соответствует стадиям катагенеза МК<sub>4</sub>-АК<sub>2</sub> (рис. 4В).

В пермском интервале разреза очаги генерации тустахской (рис. 4Г), нижнекежевниковской (рис. 4Д) и верхнекежевниковской (рис. 4Е) НГМТ протягиваются от дельты р. Лена вдоль побережья моря Лаптевых к Хатангскому заливу. Зрелость ОВ этих пород увеличивается с запада на восток на фоне углубления бассейна: в Хатангском заливе на современном этапе развития пермские НГМТ генерируют жидкие УВ; в очагах, расположенных восточнее, происходят процессы как нефте-, так и газогенерации. Истощенная порода распространена в пределах Лаптевского бассейна.

Крупный очаг нефтегазогенерации верхнеюрской НГМТ распространен в юго-западной части акватории моря Лаптевых. На большей части области распространения верхнеюрская НГМТ истощена, в южной бортовой части Лаптевского осадочного бассейна в настоящее время продолжают процессы нефте- и газогенерации (рис. 4Ж).

Несмотря на то что многие исследователи связывают значительные перспективы поисков УВ на северном обрамлении Сибирской платформы с отложениями рифея, венда [13—15, 17, 24, 25],

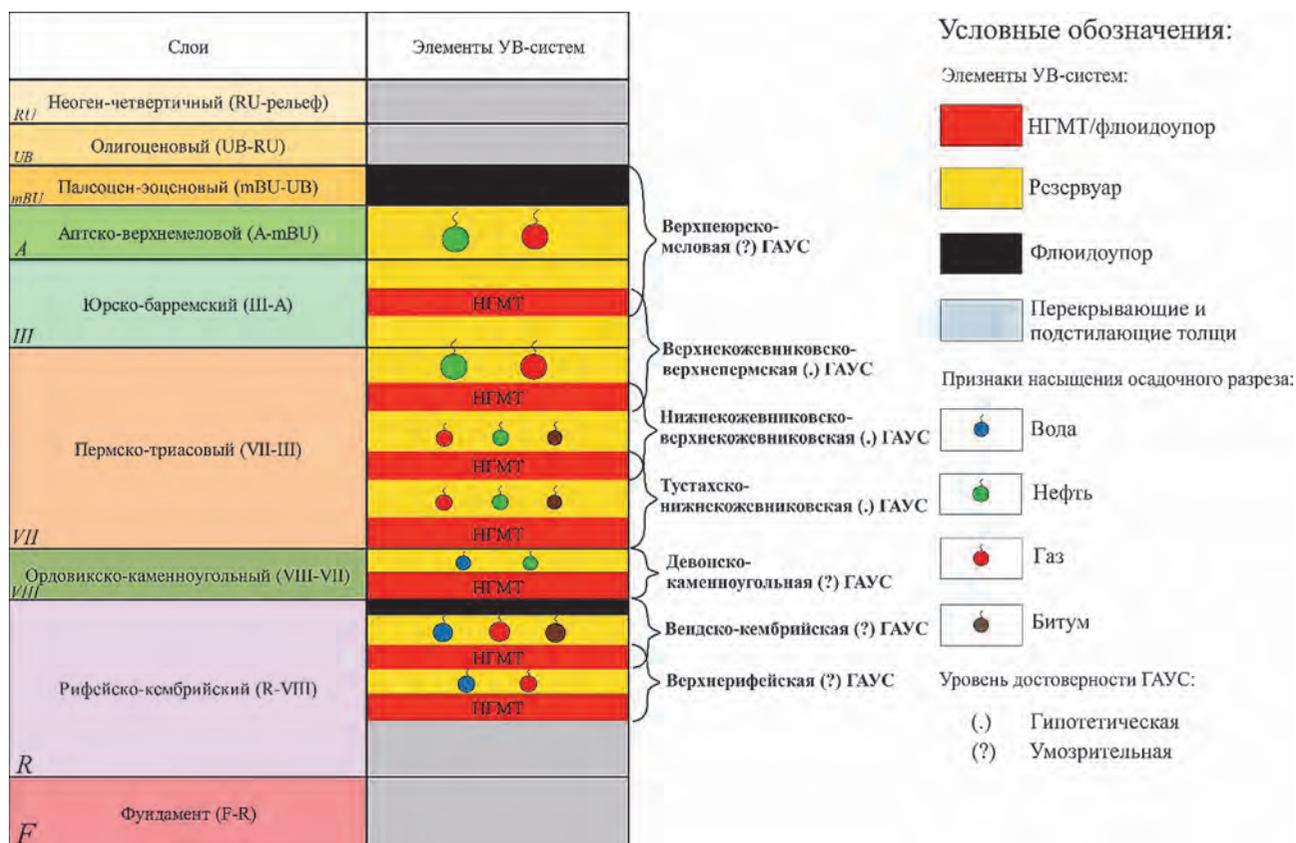
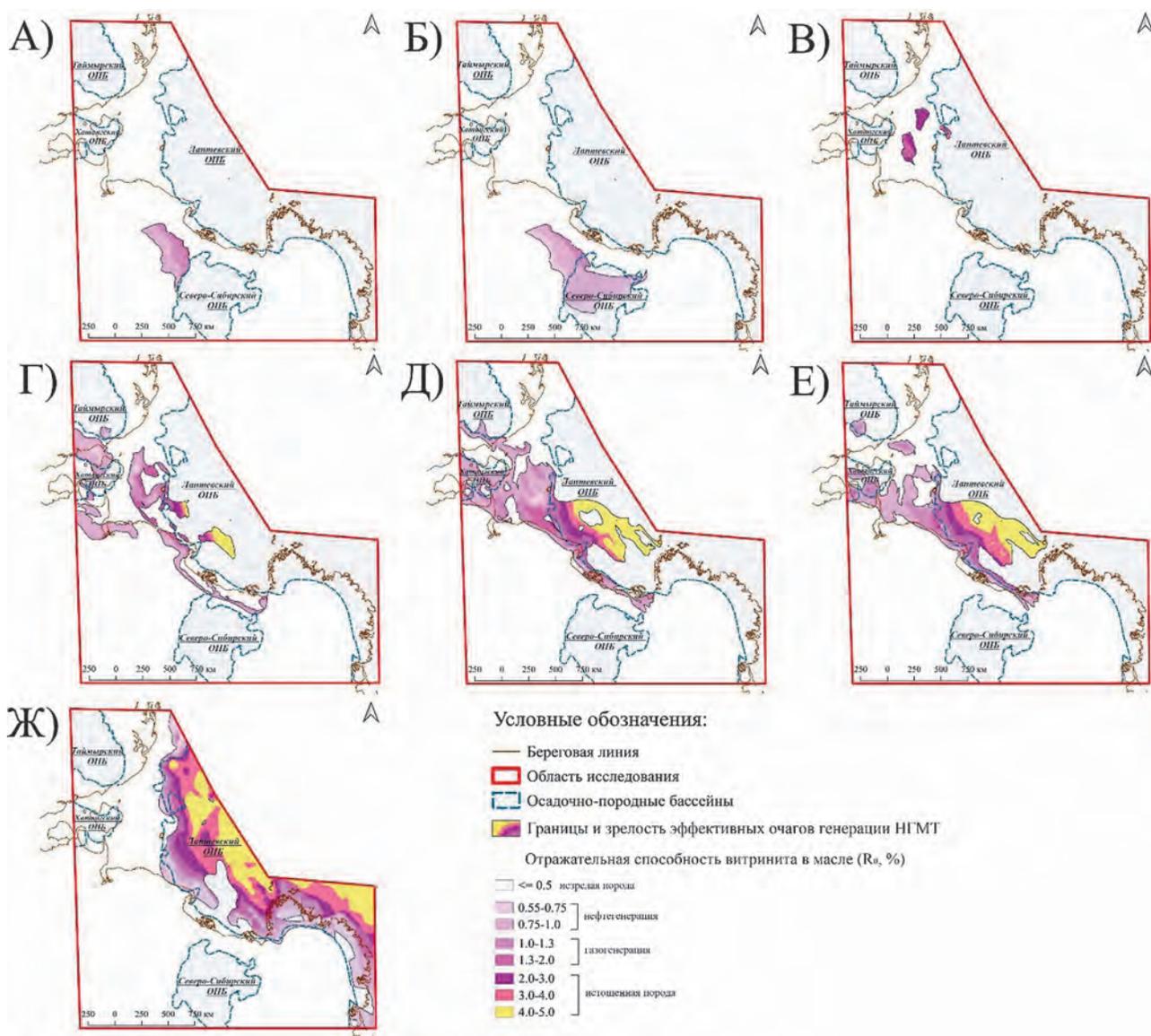


Рис. 3. Расположение изучаемых углеводородных систем в разрезе  
Fig. 3. Location of the studied petroleum systems in the sedimentary section



**Рис. 4.** Карты распространения очагов генерации НГМТ: А — верхнерифейской; Б — вендской; В — девонской; Г — тустакхской; Д — нижнекожевниковской; Е — верхнекожевниковской; Ж — верхнеюрской

**Fig. 4.** Maps of the distribution of the zones of oil and gas generation: А — Upper Riphean; Б — Vendian; В — Devonian; Г — Tustakh formation; Д — Lower Kozhevnik formation; Е — Upper Kozhevnik formation; Ж — Upper Jurassic

девона [13—15, 21], количественная оценка углеводородного потенциала изученных НГМТ показала, что верхнерифейская, вендская и девонская толщи не смогут обеспечить формирование крупных скоплений УВ в пределах исследуемого района (табл. 1). В результате тектонических событий на севере Сибирской платформы происходило разрушение сформированных скоплений УВ, на что также указывают выявленные в вендском разрезе битумы [6, 10, 20].

Наиболее богатые углеводородами толщи — пермские и верхнеюрская — способны обеспечить

существенный вклад в нефтегазоносность Анабаро-Хатангского района и юго-западной части акватории моря Лаптевых. Объем УВ, сгенерированных пермскими НГМТ, может составлять до 30 млрд т УТ. Верхнеюрская НГМТ могла сгенерировать около 37 млрд т УТ. Соответственно, объемы аккумулированных в ловушках УВ могут составлять — до 5 и 1,4 млрд т УТ (табл. 1).

Таким образом, результаты численного моделирования потенциальных ГАУС зоны сочленения показали, что наиболее перспективными с позиции условий созревания и качества

**Таблица.** Объемные характеристики ГАУС зоны сочленения Сибирской платформы и сопредельных структур южной части моря Лаптевых**Table.** Volumetric characteristics of the petroleum systems joint zone of the Siberian Platform and adjacent structures of the southern part of the Laptev Sea

ГАУС	Площадь тыс км <sup>2</sup>	Кол-во сгенерированных УВ	Кол-во эмигрировавших УВ	Кол-во аккумулированных УВ	Тип флюида	
					нефть	газ
		млрд т УТ			%	
Верхнерифейская (?)	~4,6	~1	~0,9	~0,01	84,3	15,7
Вендско-кембрийская (?)	~12,4	~20	~19	~0,2	86,91	13,09
Девонско-каменноугольная (?)	~2	~4,5	~4,5	~0,05	54,2	45,8
Тустахско-нижнекежевниковская (.)	~13,8	~17,2	~17,1	~2	84,45	15,55
Нижнекежевниковско-верхнекежевниковская (.)	~31,2	~29,7	~29,5	~5	84,19	15,81
Верхнекежевниковская-верхнепермская (.)	~27,5	~15	~14,9	~1,5	84,4	15,6
Верхнеюрско-меловая (?)	~63,8	~37,5	~37,2	~1,4	62,44	37,56

ОВ, площади распространения очагов генерации и начального генерационного потенциала являются: нижнекежевниковско-верхнекежевниковская (.) ГАУС, характеризующая перспективы нефтегазоносности всего пермского комплекса, и верхнеюрско-меловая (.) ГАУС, которая может обеспечить существенный вклад в современную нефтегазоносность юго-западной части моря Лаптевых.

### Заключение

Проведенное комплексное нефтегазогеологическое исследование позволило предположить, что в разрезе зоны сочленения Сибирской платформы и смежных структур моря Лаптевых могли получить развитие углеводородные системы на следующих уровнях: в верхнерифейских, вендско-кембрийских, девонско-каменноугольных, пермских и верхнеюрско-меловых отложениях. Несмотря на то что прогнозируемые НГМТ обладают качественным ОВ, накапливающимся в благоприятных обстановках осадконакопления в условиях длительного и устойчивого прогибания бассейна, проведенное численное моделирование с целью выделения очагов нефтегазогенерации и количественной оценки их углеводородного потенциала указывает на то, что допермская часть разреза на Сибирской платформе не представляет интереса с позиции поисков УВ, поскольку территория претерпела многочисленные структурные перестройки, которые негативно отразились на развитии очагов нефтегазогенерации и сохранности сформированных скоплений. В связи с чем объемы аккумулированных в ловушках УВ незначительны

и не смогут обеспечить формирования крупных месторождений УВ.

Эффективные углеводородные системы прогнозируются в пермских и верхнеюрско-меловых отложениях. В ходе исследования были рассмотрены тустахская, нижнекежевниковская и верхнекежевниковская потенциальные НГМТ пермского возраста. Пермские НГМТ обладают высоким исходным генерационным потенциалом и способны внести значительный вклад в нефтегазоносность Анабаро-Хатангского района, а также юго-западной акватории моря Лаптевых. Учитывая региональный характер исследования, для последующего изучения непосредственно эффективных углеводородных систем была выделена нижнекежевниковско-верхнекежевниковская (.) ГАУС, которая будет характеризовать перспективы всего пермского комплекса зоны сочленения Сибирской платформы и смежных структур моря Лаптевых. Ожидается, что с данной углеводородной системой могут быть связаны значительные ресурсы УВ — до 5 млрд т УТ, сконцентрированных в антиклинальных ловушках Анабаро-Хатангского района и юго-западной, прибрежной части моря Лаптевых.

Верхнеюрско-меловая (?) ГАУС, несмотря на текущую неопределенность в строении, возрасте и составе отложений, слагающих Лаптевоморский бассейн, может обеспечить существенный вклад в современную нефтегазоносность юго-западной части моря Лаптевых — до 1,4 млрд т УТ. Таким образом, настоящее исследование указывает на целесообразность проведения дальнейших детальных исследований на Лаптевоморском шельфе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакай Е.А., Смирнова М.Е., Коробова Н.И., Надежкин Д.В. Литолого-геохимическая характеристика Пермского нефтегазоносного комплекса Лено-Анабарского прогиба (на примере скважины Усть-Оленекская-2370) // Вестник Московского университета. 2016. № 1. С. 71—81.
2. Варламов А.И., Афанасенков А.П. Ресурсный потенциал и перспективы освоения Арктической зоны Российской Федерации // Государственный аудит. Право. Экономика. 2017. № 1. С. 79—87.
3. Грушевская О.В. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности недр акватории моря Лаптевых и северной части Сибирской платформы // Автореферат дис. кан. геол.-минерал. наук. Москва, 2017, 27 с.
4. Гулиев И.С., Мустаев Р.Н., Керимов В.Ю., Юдин М.Н. Дегазация Земли: масштабы и последствия // Горный журнал. 2018. № 11. С. 38—42. DOI 10.17580/gzh.2018.11.06
5. Заварзина Г.А., Шкарубо С.И. Тектоника западной части шельфа Моря Лаптевых // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2012. Т. 7. № 3. С. 1—18.
6. Каширцев В.А., Конторович А.Э., Иванов В.Л., Сафронов А.Ф. Месторождения природных битумов на северо-востоке Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 1. С. 93—105.
7. Каширцев В.А., Никитенко Б.Л., Пещевицкая Е.Б., Фурсенко Е.А. Биогеохимия и микрофоссилии верхней юры и нижнего мела Анабарского залива моря Лаптевых // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 4. С. 481—501. DOI: 10.15372/GiG20180405.
8. Керимов В.Ю., Лавренова Е.А., Крулякова М.В., Горбунов А.А. Перспективы нефтегазоносности п-ова Крым и западного побережья Азовского моря // Нефтяное хозяйство. 2014. № 9. С. 66—70.
9. Керимов В.Ю., Осипов А.В., Монакова А.С., Захарченко М.В. Особенности формирования и нефтегазоносность складчато-надвигового пояса Урала // Теоретические основы и технологии поисков и разведки нефти и газа. 2012. Т. 2. № 2. С. 4—14.
10. Керимов В.Ю., Шилов Г.Я., Серикова У.С. Геологические риски при поисках и разведке месторождений нефти и газа и пути их снижения // Нефть, газ и бизнес. 2014. № 8. С. 44—52.
11. Керимов В.Ю., Шилов Г.Я., Серикова У.С. Стратегия и тактика освоения углеводородных ресурсов на шельфе РФ // Нефть, газ и бизнес. 2014. № 7. С. 28—34.
12. Керимов В.Ю., Лавренова Е.А., Щербина Ю.В., Мамедов Р.А. Структурно-тектоническая модель фундамента и осадочного чехла Восточно-Арктических акваторий // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020. Т. 63. № 1. С. 19—29. DOI 10.32454/0016-7762-2020-63-1-19-29
13. Конторович В.А., Конторович А.Э., Губин И.А., Зотеев А.М., Лапковский В.В., Малышев Н.А., Соловьев М.В., Фрадкин Г.С. Структурно-тектоническая характеристика и модель геологического строения неопротерозойско-фанерозойских отложений Анабаро-Ленской зоны // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 1253—1274.
14. Конторович В.А., Калинин А.Ю., Калинина Л.М., Соловьев М.В. Сейсмогеологические модели и нефтегазоносность осадочных комплексов в арктических регионах Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции (Анабаро-Хатангская, Лено-Анабарская нефтегазоносные области) // Геология нефти и газа. 2019. № 5. С. 15—26. DOI: 10.31087/0016-7894-2019-5-15-26.
15. Конторович В.А., Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Калинин А.Ю., Калинина Л.М., Костырева Е.А., Мельник Д.С., Моисеев С.А., Парфенова Т.М., Сафронов П.И., Соловьев М.В., Фомин А.Н., Фурсенко Е.А. Геологическое строение, нефтегазоносность, ресурсы углеводородов и направления геолого-разведочных работ на северо-восточной континентальной окраине Сибирской платформы (Анабаро-Хатангская и Лено-Анабарская НГО) // Геология и геофизика. 2023. Т. 65. № 6. С. 823—849. doi: 10.15372/GiG2023184.
16. Лавренова Е.А., Керимов В.Ю., Горбунов А.А. Геодинамическое районирование и структурно-формационные комплексы осадочного чехла Восточно-Арктических морей России // Горный журнал. 2024. № 10. С. 31—40. DOI: 10.17580/gzh.2024.10.04.
17. Лежнин Д.С., Афанасенков А.П., Соболев П.Н., Найденов Л.Ф. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности рифей-палеозойских отложений Хатангско-Ленского междуречья // Геология нефти и газа. 2021. № 4. С. 7—28. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-4-7-28.
18. Мазитов М.Р., Качкин А.А., Скачек К.Г., Ларичев А.И., Бостриков О.И., Хабаров А.Н., Семенова З.А. Геолого-геохимические критерии нефтегазоносности Анабаро-Хатангской седловины // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2017. Т. 12. № 4. С. 1—22. [https://doi.org/10.17353/2070-5379/43\\_2017](https://doi.org/10.17353/2070-5379/43_2017).
19. Павёлкина Д.А., Высоколян А.М., Лавренова Е.А., Шатыров А.К. Осадочные бассейны юго-восточной части моря Лаптевых и сопредельной территории Сибирской платформы // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2024. Т. 66. № 2. С. 35—48. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-2-35-48>.
20. Полякова И.Д., Борукаев Г.Ч., Сидоренко С.А. Углеводородный потенциал рифейско-нижнемеловых комплексов Лаптевоморского региона. Арктика: экология и экономика. 2016. Т. 21. № 1. С. 56—65.
21. Полякова И.Д., Борукаев Г.Ч. Структура и нефтегазовый потенциал Лаптевоморского региона // Литология и полезные ископаемые. 2017.

- № 4. С. 322—339. <https://doi.org/10.7868/S0024497X17040036>.
22. Прокопьев А.В., Ершова В.Б., Миллер Э.Л., Худoley А.К. Раннекаменноугольная палеогеография северной части Верхоянской пассивной окраины по данным U-Pb датирования обломочных цирконов: роль продуктов размыва Центрально-Азиатского и Таймыро-Североземельского складчатых поясов // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 10). С. 1530—1542.
  23. Скворцов М.Б., Дзюбло А.Д., Грушевская О.В., Кравченко М.Н., Уварова И.В. Качественная и количественная оценка перспектив нефтегазоносности шельфа моря Лаптевых // Геология нефти и газа. 2020. № 1. С. 5—19. DOI 10.31087/0016-7894-2020-1-5-19.
  24. Соболев П.Н., Лежнин Д.С., Панарин И.А., Гаврилова Е.Н., Пименова А.М. Геохимические критерии нефтегазоносности рифей-палеозойских отложений Лено-Анабарского регионального прогиба и сопредельных территорий // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2019. № 8. С. 62—74. DOI: 10.30713/2413-5011-2019-8(332)-62-74.
  25. Фролов С.В., Коробова Н.И., Бакай Е.А., Курдина Н.С. Углеводородные системы и перспективы нефтегазоносности Анабаро-Ленского прогиба // Георесурсы. 2017. № 2. С. 173—185. <http://doi.org/10.18599/grs.19.18>.
  26. Magoon L.B., Dow W.G. The Petroleum System. From Source to Trap. The American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Memoir 60, 1994. 637 p.

## REFERENCES

1. Bakaj E.A., Smirnova M.E., Korobova N.I., Nadezhkin D.V. Lithological and geochemical characteristics of the Permian oil and gas complex of the Leno-Anabar trough (using the example of the Ust-Olenekskaaya-2370 well) // Bulletin of the Moscow University. 2016. No. 1. pp. 71—81. (In Russ.)
2. Varlamov A.I., Afanasev A.P. Resource potential and prospects of the Arctic zone of the Russian Federation // State audit. Right. Economics. 2017. No. 1. pp. 79—87. (In Russ.)
3. Grushevskaya O.V. The geological structure and prospects of the oil and gas potential of the subsoil of the Laptev Sea and the northern part of the Siberian Platform // Abstract of dis. kan. geol.-mineral. sciences. Moscow, 2017, 27 p. (In Russ.)
4. Guliev I.S., Mustaev R.N., Kerimov V.Yu., Yudin M.N. Degassing of the Earth: scales and consequences // Mining Journal. 2018. No. 11. pp. 38—42. (In Russ.) DOI 10.17580/gzh.2018.11.06
5. Zavarzina G.A., Shkarubo S.I. Tectonics of the western part of the Laptev Sea shelf // Oil and gas geology. Theory and Practice. 2012. Vol. 7. No. 3, pp. 1—18. (In Russ.)
6. Kashircev V.A., Kontorovich A.Je., Ivanov V.L., Safronov A.F. Natural bitumen fields in the northeast of the Siberian Platform // Geology and Geophysics. 2010. Vol. 51. No. 1. pp. 93—105. (In Russ.)
7. Kashirtsev V.A., Nikitenko B.L., Peshchevitskaya E.B., Fursenko E.A. Biogeochemistry and microfossils of the upper Jurassic and lower Cretaceous, Anabar Bay, Laptev Sea // Geology and Geophysics. 2018. Vol. 59. No. 4. pp. 481—501. (In Russ.) DOI: 10.15372/GiG20180405.
8. Kerimov V.Yu., Lavrenova E.A., Kruglyakova M.V., Gorbunov A.A. Prospects for the oil and gas potential of the peninsula of Crimea and the western coast of the Sea of Azov. 2014. No. 9. pp. 66—70. (In Russ.)
9. Kerimov V.Yu., Osipov A.V., Monakova A.S., Zakharchenko M.V. Features of formation and oil and gas potential of the folded thrust belt of the Urals // Theoretical foundations and technologies of oil and gas prospecting and exploration. 2012. Vol. 2. No. 2. pp. 4—14. (In Russ.)
10. Kerimov V.Yu., Shilov G.Ya., Serikova U.S. Geological risks in the search and exploration of oil and gas fields and ways to reduce them // Oil, gas and business. 2014. No. 8. pp. 44—52. (In Russ.)
11. Kerimov V.Yu., Shilov G.Ya., Serikova U.S. Strategy and tactics of the development of hydrocarbon resources on the shelf of the Russian Federation // Oil, gas and business. 2014. No. 7. pp. 28—34. (In Russ.)
12. Kerimov V.Yu., Lavrenova E.A., Shcherbina Yu.V., Mammadov R.A. Structural and tectonic model of the basement and sedimentary cover of the Eastern Arctic waters // News of higher educational institutions. Geology and exploration. 2020. Vol. 63. No. 1. pp. 19—29. (In Russ.) DOI 10.32454/0016-7762-2020-63-1-19-29
13. Kontorovich V.A., Kontorovich A.Je., Gubin I.A., Zoteev A.M., Lapkovskij V.V., Malyshev N.A., Solov'ev M.V., Fradkin G.S. The neoproterozoic-phanerozoic section of the Anabar-Lena province: structural framework, geological model, and petroleum potential // Geology and geophysics. 2013. Vol. 54. No. 8. pp. 1253—1274. (In Russ.)
14. Kontorovich V.A., Kalinin A.Ju., Kalinina L.M., Solov'ev M.V. Seismogeological models and petroleum potential of sedimentary sequences in the Arctic regions of Lena-Tunguska petroleum province (Anabar-Khatanga, Lena-Anabar petroleum areas) // Oil and gas geology. 2019. No. 5. pp. 15—26. (In Russ.) DOI: 10.31087/0016-7894-2019-5-15-26.
15. Kontorovich V.A., Kontorovich A.E., Burshtejn L.M., Kalinin A.Yu., Kalinina L.M., Kostyreva E.A., Melnik D.S., Moiseev S.A., Parfenova T.M., Safronov P.I., Solovyov M.V., Fomin A.N., Fursenko E.A. Geological structure, oil and gas potential, hydrocarbon resources and exploration directions on the north-eastern continental margin of the Siberian platform (Anabaro-Khatanga and Leno-Anabara) //

- Geology and Geophysics. 2023. Vol. 65. No. 6. pp. 823—849. (In Russ.) DOI: 10.15372/GiG2023184.
16. Lavrenova E.A., Kerimov V.Yu., Gorbunov A.A. Geodynamic zoning and structural forms within sedimentary mantle of the Eastern Arctic Seas of Russia // Mining Journal. 2024. No. 10. pp. 31—40. (In Russ.) DOI: 10.17580/gzh.2024.10.04.
  17. Lezhnin D.S., Afanasenkov A.P., Sobolev P.N., Najdenov L.F. Riphean-Palaeozoic series in the Khatanga-Lena interfluvium: geological structure and petroleum potential // Oil and gas geology. 2021. No. 4. pp. 7—28. (In Russ.) DOI: 10.31087/0016-7894-2021-4-7-28.
  18. Mazitov M.R., Kachkin A.A., Skachek K.G., Larichev A.I., Bostrikov O.I., Khabarov A.N., Semenova Z.A. Geological and geochemical criteria of the oil and gas potential of the Anabar-Khatanga saddle // Petroleum Geology. Theory and practice. 2017. Vol. 12. No. 4. pp. 1—22. (In Russ.) [https://doi.org/10.17353/2070-5379/43\\_2017](https://doi.org/10.17353/2070-5379/43_2017).
  19. Pavelkina D. A., Vysokolyan A. M., Lavrenova E. A., Shatyrov A. K. Sedimentary basins in the southeastern part of the Laptev sea and the adjacent area of the Siberian platform // Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2024. Vol. 66. No. 2. P. 35—48. (In Russ.) <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-2-35-48>
  20. Polyakova I.D., Borukaev G.Ch., Sidorenko S.A. The hydrocarbon potential of the Riphean-Lower Cretaceous complexes of the Laptev Sea region // The Arctic: Ecology and Economics. 2016. Vol. 21. No. 1. pp. 56—65. (In Russ.)
  21. Poljakova I.D., Borukaev G.Ch. The structure and oil and gas potential of the Laptev Sea region // Lithology and minerals. 2017. No. 4. pp. 322—339. (In Russ.) DOI: 10.7868/S0024497X17040036.
  22. Prokopiev A.V., Ershova V.B., Miller E.L., Khudoley A.K. Early carboniferous paleogeography of the northern Verkhoyansk passive margin as derived from U–Pb dating of detrital zircons: role of erosion products of the Central Asian and Taimyr–Severnaya Zemlya fold belts // Geology and Geophysics. 2013. Vol. 54. No. 10. pp. 1530—1542. (In Russ.)
  23. Skvortsov M.B., Dzyublo A.D., Grushevskaya O.V., Kravchenko M.N., Uvarova I.V. Laptev Sea shelf: qualitative and quantitative assessment of hydrocarbon potential // Oil and Gas geology. 2020. No. 1. pp. 5—19. (In Russ.) DOI 10.31087/0016-7894-2020-1-5-19.
  24. Sobolev P.N., Lezhnin D.S., Panarin I.A., Gavrilova E.N., Pimenova A.M. Geochemical criteria of petroleum potential of the riphean-paleozoic sediments of the lena-anabarsky regional trough and adjacent territories // Geology, geophysics and development of oil and gas fields. 2019. No. 8. pp. 62—74. (In Russ.) DOI: 10.30713/2413-5011-2019-8(332)-62-74.
  25. Frolov S.V., Korobova N.I., Bakaj E.A., Kurdina N.S. Hydrocarbon systems and oil and gas potential prospects of the Anabar-Lena trough // Georesources. 2017. Special issue. Part 2. pp. 173—185. (In Russ.) DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.18>
  26. Magoon L.B., Dow W.G. The Petroleum System. From Source to Trap. The American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Memoir 60, 1994. 637 p.

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Павёлкина Д.А. — разработала концепцию статьи, внесла основной вклад при выполнении исследования (сбор и анализ материалов, разработка трехмерной пространственно-временной модели, анализ результатов моделирования, выделение эффективных углеводородных систем), подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Гузеева К.А. — произвела сбор материалов, подготовила структурные поверхности для последующего моделирования, занималась оформлением графических материалов и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Авдеева И.С. — произвела сбор материалов, сформировала геоинформационную базу данных и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Устинов И.С. — произвел сбор материалов, форматировал текст и графические приложения и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Diana A. Pavelkina — developed the article concept, made the main contribution to the research (collection of materials, development of a three-dimensional space-time model, analysis of simulation results, identification of efficient petroleum systems), has prepared the text of the article and agree to assume responsibility for all aspects of the work.

Kristina A. Guzeyeva — collected materials, prepared structural surfaces for subsequent modeling, designed graphic materials, and agree to assume responsibility for all aspects of the work.

Inna S. Avdeeva — collected materials, created a geographic information database and agree to assume responsibility for all aspects of the work.

Ilya S. Ustinov — collected materials, formatted text and graphic applications, and agree to take responsibility for all aspects of the work.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Павёлкина Диана Андреевна\*** — инженер научно-исследовательской лаборатории «Моделирование углеводородных систем», аспирант кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [dianapavyolkina@yandex.ru](mailto:dianapavyolkina@yandex.ru)

тел.: +7 (902) 987-64-04

SPIN-код: 3137-6742

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6934-0785>

**Diana A. Pavelkina\*** — Engineer of the scientific research laboratory “Modeling of hydrocarbon systems”, post-graduate researcher of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: [dianapavyolkina@yandex.ru](mailto:dianapavyolkina@yandex.ru)

tel.: +7 (902) 987-64-04

SPIN-code: 3137-6742

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6934-0785>

**Гузеева Кристина Александровна** — студентка 5-го курса кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [guzeeva.kristina81@gmail.com](mailto:guzeeva.kristina81@gmail.com)

тел.: +7 (929) 528-69-27

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1947-2341>

**Kristina A. Guzeyeva** — 5<sup>th</sup> year student of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: [guzeeva.kristina81@gmail.com](mailto:guzeeva.kristina81@gmail.com)

tel.: +7 (929) 528-69-27

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1947-2341>

**Авдеева Инна Сергеевна** — студентка 5-го курса кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [nusic21@mail.ru](mailto:nusic21@mail.ru)

тел.: +7 (910) 496-05-45

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9368-8280>

**Inna S. Avdeeva** — 5<sup>th</sup> year student of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: [nusic21@mail.ru](mailto:nusic21@mail.ru)

tel.: +7 (910) 496-05-45

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9368-8280>

**Устинов Илья Сергеевич** — студент 5-го курса кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [ilaustinov3@gmail.com](mailto:ilaustinov3@gmail.com)

тел.: +7 (980) 078-06-20

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4823-5727>

**Ilya S. Ustinov** — 5<sup>th</sup> year student of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: [ilaustinov3@gmail.com](mailto:ilaustinov3@gmail.com)

tel.: +7 (980) 078-06-20

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4823-5727>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## ГРАВИСЕЙСМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЕЁ ПЯТИОКЕАНИЧЕСКАЯ ГЕОСТРОФА

А.Ф. ГЛЕБОВ

*Межгосударственная нефтегазовая компания «Союзнефтегаз»  
9, Десятный переулок, г. Москва 125009, Россия*

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Приоритетные позиции Российской геологии-геофизики в прошлом и в будущем надежно обеспечены огромным объёмом минерально-сырьевых ресурсов Евразийского протоокеана (ЕАО) от древней Арктики до Среднего Востока, который со всех четырёх сторон граничил до своего закрытия с другими в различной степени раскрытыми протоокеанами между Гондваной, Европой и Азией с Сибирью (G-E-A).

**Цель исследования.** Построение актуальной грависейсмической модели земной коры как основы для выделения 4 тектонических режимов R-T-O-E (рифтогенного, талассогенного, орогенного, эпейрогенного) и пятиокеанической геострофы Земли с двумя циркумполярными (ПЦО-ВЦО) и тремя межматериковыми протоокеанами (ЕАО-ГАО-ЕГО).

**Материалы и методы.** Сбор и объединение современных геолого-геофизических данных по нефтегазоносным и минерагеническим провинциям мира для 4-сегментного (RT-TO-OE-ER) районирования и сейсмостратиграфического расчленения осадочных комплексов на UST-MST-DST-LST-формации с учетом глобальных колебаний (растущего, максимального, падающего и низкого) уровня моря.

**Результаты.** Выделение 8 геострофических плит современной земной коры с её четырёх-сегментным (RT-TO-OE-ER) районированием и сиквенс-стратиграфическим расчленением на 12 глобальных сиквенсов (осадочных комплексов).

**Заключение.** На основе актуальных грависейсмических данных с выделением 4 типов геодинамических обстановок и 4 типов осадочных формаций разработана новая концепция пятиокеанической геострофы земной коры, способная с момента образования Мирового океана объяснить как прошлые, так и будущие этапы тектоно-стратиграфического развития осадочных бассейнов, нефтегазоносных и минерагенических провинций.

**Ключевые слова:** земная кора, гравитация и магматизм, аномалии Буге и глубины Мохо, геоид и сейсмоактивность, плиты геострофического прогибания и воздымания, литосферные сегменты и их эпицентральные области, квазиравновесные и седловинно-сдвиговые границы, тектонические режимы и геодинамические обстановки, осадочные формации и нефтегазоносные комплексы

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Глебов А.Ф. Грависейсмическое строение земной коры и её пятиокеаническая геострофа. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2025;67(2):60—75. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-60-75> EDN: [JROFTS](https://www.edn.ru/JROFTS)

*Статья поступила в редакцию 22.05.2025*

*Принята к публикации 26.05.2025*

*Опубликована 30.06.2025*

# GRAVISEISMIC STRUCTURE OF THE EARTH'S CRUST AND ITS FIVE-OCEANIC GEOSTROPHE

ALEXEY F. GLEBOV

*Intergovernmental Oil & Gas Company "SouzNefteGas"  
9, Degtyarny lane, Moscow 125009, Russia*

## ABSTRACT

**Background.** The priority positions of Russian geology and geophysics have been reliably supported by large volumes of mineral resources of Eurasian proto-ocean/EAO from ancient Arctic to Middle East. This ocean bordered on all its sides by four other proto-oceans that were opened step-by-step to different sizes between Gondwana, Europe and Asia with Siberia (G-E-A).

**Aim.** Graviseismic modeling of the Earth's crust as a basis for RTOE-determination of four tectonic (rifo-, thalasso-, oro-, & epeiro-genic) regimes and a five-oceanic geostrophe of the Earth with two circumpolar and three intercontinental oceans.

**Materials and methods.** Collection and integration of actual geological and geophysical data on the world's petroleum and mineragenic provinces to carry out a four-segment (RT-TO-OE-ER) zoning of the Earth's crust and a sequence stratification of four system tracts (UST-MST-DST-LST formations) taking into account global fluctuations (up, max, down, low/min) of the sea level.

**Results.** Graviseismic identification of eight geostrophic plates of the modern Earth's crust with its four-segment zoning and seismo-geological stratification into 12 global sequences.

**Conclusion.** A new graviseismic concept of a five-oceanic geostrophe of the Earth's crust has been developed, which is capable of elucidating both past and future stages of the tectono-stratigraphic evolution of sedimentary provinces since the origin of the World Ocean.

**Keywords:** Earth's crust, gravity and magmatism, Bouguer anomalies and Moho depths, geoid and seismicity, plates of geostrophic subsidence or uplift, lithospheric segments and their epicentral regions, quasi-equilibrium and saddle-shear borderlines, tectonic regimes and geodynamic settings, sedimentary formations and petroleum sequences

**Conflict of interest:** the author declares no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Glebov A.F. Graviseismic structure of the earth's crust and its five-oceanic geostrophe. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration.* 2025;67(2):60—75. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-60-75> EDN: [JROFTS](https://www.edn.org/JROFTS)

*Manuscript received 22 May 2025*

*Accepted 26 May 2025*

*Published 30 June 2025*

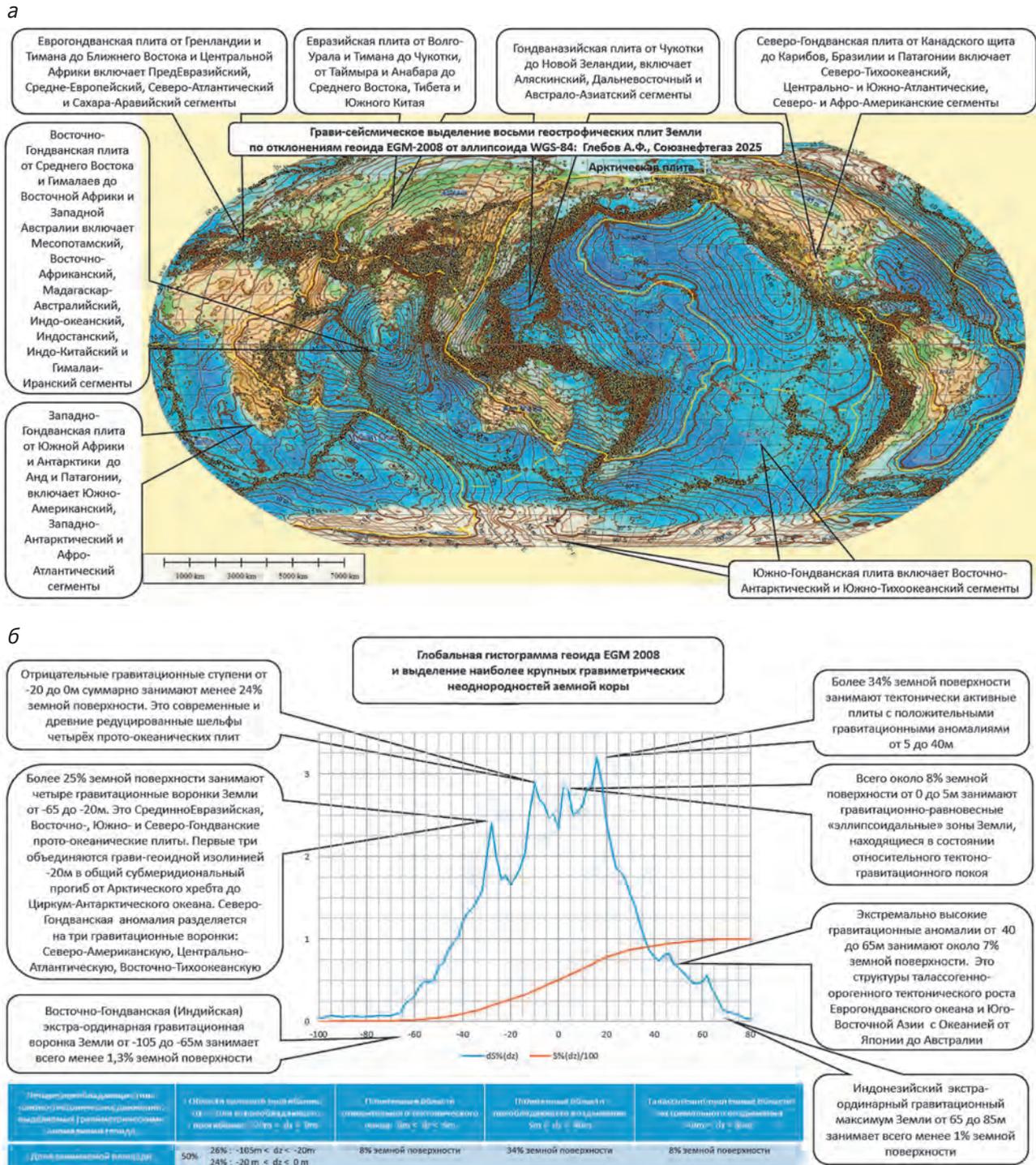
## Введение

В данной статье на основе фундаментальных грависейсмических и нефтегазогеологических исследований Э.Э. Фотиади, Н.Н. Пузырёва, А.С. Алексеева, С.В. Гольдина, И.С. Чичина, Е.Б. Груниса и многих других российских и зарубежных геологов [1—20], а также классических определений Н.А. Беляевского [2] четырёх тектонических режимов земной коры (Р-Т-О-Э) и производственных геолого-геофизических материалов свыше 390 добычных и 90 поисковых проектов Срединной Евразии, Среднего

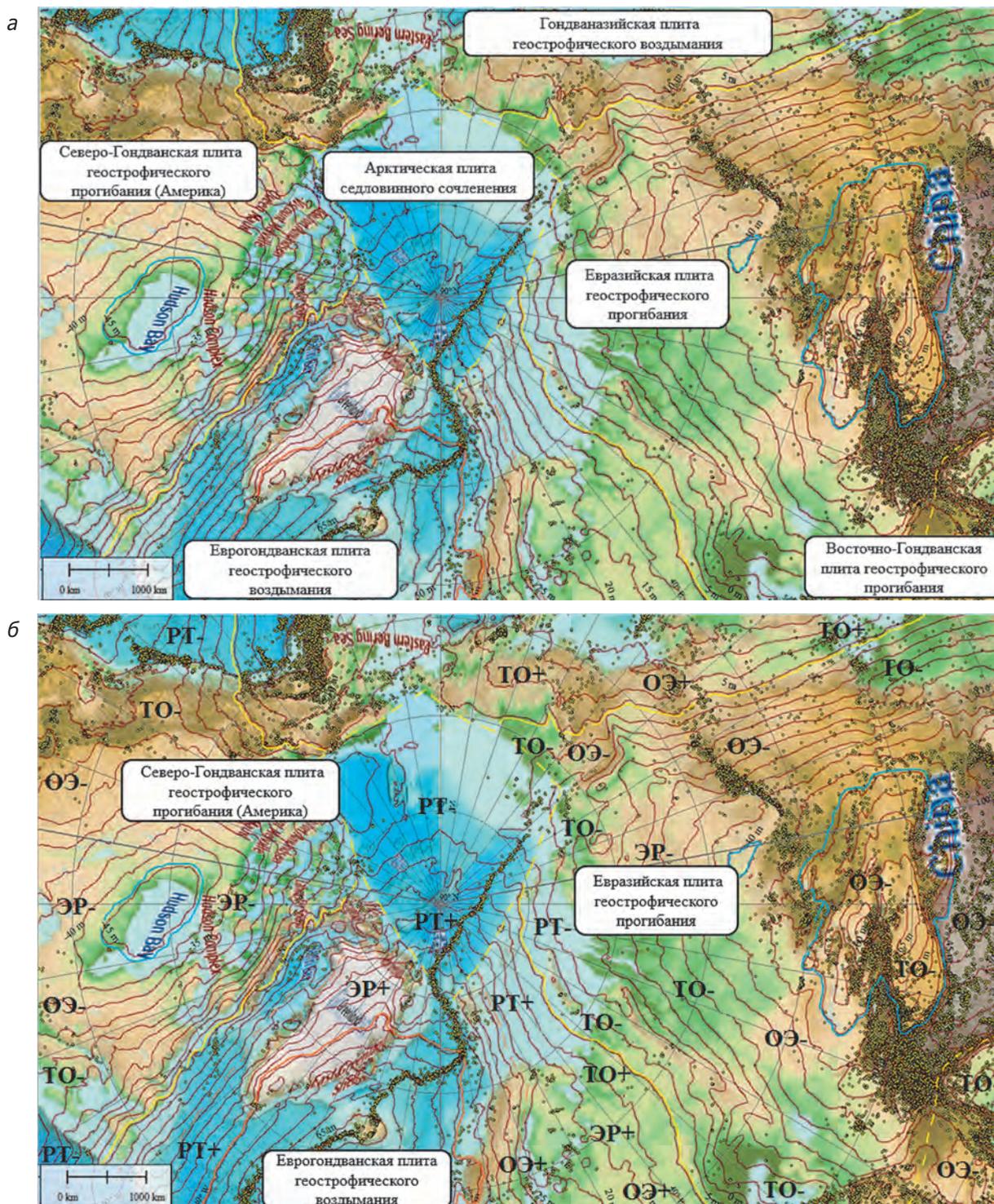
Востока и остального мира [3—9] впервые представляется новая геодинамическая концепция пятиокеанической геострофы земной коры исходя из наличия 8 современных геострофических плит (рис. 1, 2) с их четырёхсегментным районированием (табл. 1—3) и четырёхформационной структурой 12 глобальных осадочных комплексов, известных как сиквенсы Л.Л. Слосса [14—17].

На основе анализа морфологии геоида, сейсмоактивных и магматических поясов, аномалий Буге и глубин Мохо [2], а также межрегионального сопоставления крупных нефтегазоносных провинций

# ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION



**Рис. 1.** Грависейсмическое выделение: (а) 8 геострофических плит земной коры по изогипсам геоида EGM 2008 с сейсмическими событиями 1970—2025 годов более 4 баллов; (б) основных геодинамических сегментов земной коры по гистограмме геоида. <https://svs.gsfc.nasa.gov/11234/> <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>  
**Fig. 1.** Gravi-seismic identification — (a) of 8 geostrophic plates of the earth's crust on the base EGM 2008 geoid isohypses and 1970—2025 seismic events with Richter magnitude more than 4; and (b) of the largest lithospheric segments of the earth's crust on the base EGM 2008 geoid histogram. <https://svs.gsfc.nasa.gov/11234/> <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>



**Рис. 2.** Грависейсмическое выделение: (а) 6 геострофических плит северного полушария Земли по изогипсам геоида EGM-2008 с сейсмическими событиями 1970—2025 годов более 4 баллов; (б) выделение 8 геодинамических обстановок прогиба (RT-, TO-, OE-, ER-) и воздымания (RT+, TO+, OE+, ER+) для разных литосферных сегментов северного полушария

**Fig. 2.** Gravi-seismic identification — (a) of 6 geostrophic plates of the Northern Hemisphere on the base EGM 2008 geoid isohypses and 1970—2025 seismic events with Richter magnitude more than 4; and (b) of the 8 geodynamic settings of subsidence (RT-,TO-,OE-,ER-) and uplift (RT+,TO+,OE+,ER+) for different lithospheric segments

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

**Таблица 1.** Четыре типа осадочных формаций (системных трактов) по линейным коэффициентам ( $y = a \times x + b$ ) кросс-плотов «кровля/подошва» [3, 7]

**Table 1.** Four types of sedimentary formations (system tracts) according to linear coefficients ( $y = a \times x + b$ ) of “Top Versus Bottom” cross-plots [3, 7]

TVB (Top Versus Bottom)	$a < 1$	$a > 1$
$b > 0$	UST (уровень моря растёт)	LST (уровень моря низкий)
$b < 0$	DST (уровень моря падает)	MST (уровень максимальный)

**Таблица 2.** Четыре типа геодинамической обстановки, соседствующих друг с другом в границах каждой отдельной плиты геострофического воздымания/прогибания [7, 8]

**Table 2.** Four types of geodynamic environment adjacent to each other within the boundaries of each individual plate of geostrophic uplift/subsidence [7, 8]

Мощность земной коры	Увеличенная	Уменьшенная
Уменьшается	ЭР/ER	РТ/RT
Увеличивается	ОЭ/ОЕ	ТО/ТО

**Таблица 3.** Двенадцать осадочных комплексов Центральной Евразии, Ближнего Востока, США и остального мира [8, 10, 11, 14—17], сверху и снизу ограниченных глобальными несогласиями от Л.Л. Слосса (1963, 1988), Стратиграфия Канзаса GS (1968) С. Хагена, Л. Хензика до А.Ф. Глебова (2013)

**Table 3.** Twelve sedimentary complexes of Central Eurasia, Middle East, USA and the rest of the world [8, 10, 11, 14—17], in top & bottom limited by global unconformities from L.L. Sloss (1963, 1988), Stratigraphy of Kansas GS (1968) by S. Hagen, L. Hensiek to A.F. Glebov (2013)

1. Ar-Pr1: Биполярный ВР (ПЦО/PCO & ВЦО/SCO) или Sauk/Саук 1 (после Гуронский — до Эдиакарский 2400—635 млн лет)
2. Pr-Cm1: Гондвана-Евразийский GEA (Протогея) или Sauk/Саук 2 (Рифей-Вендский, Юрубчено-Тохомский, Непско-Ботубинский)
3. Cm-O1: Еврогондванский EG или Sauk/Саук 3 (Балтийский, Сахара-Аравийский, Северо-Гондванский)
4. O-D1: Тимано-Печорский TP или Типпеканоэ/Tippicanoe
5. D-C1: Волго-Уральский VU или Каскасия/Kaskaskia (D-Миссиссипий)
6. C-P1: Прикаспийский PC или Абсарока/Absaroka (Пенсильваний-P1)
7. P-T1: Северо-Каспийский NC или Зуни/Zuni-1
8. T-J1: Скифско-Туранский ST или Зуни/Zuni-2
9. J-K1: Западно-Сибирский WS или Зуни/Zuni-3
10. K-Pg1: Средне-Каспийский MC или Месопотамский, Зуни/Zuni-4
11. Pg-Ng1: Терско-Каспийский TC или Левантийский, Тэджас/Tejas-1
12. Ng-Q1: Южно-Каспийский SC или Тэджас/Tejas-2

[7—17] была выработана простая тектоническая концепция рифтогенного раскола Протогеи (Proto-GEA) в позднем протерозое на три протоматерика (Гондвану, Европу и Азию с Сибирью) с образованием между ними 5 протоокеанов, изначально раскрытых в различной степени, но последовательно закрывающихся после достижения своего максимального раскрытия: 1. ПЦО — 2. ЕАО — 3. ГАО — 4. ЕГО — 5. ВЦО. Такая концепция пятиокеанической геострофы позволяет:

1) дать неожиданную расшифровку древнего названия нашей планеты GEA и признать «квар-

тер» тектонически верным названием современной эпохи с грядущим максимальным раскрытием ЕГО как четвертого протоокеана, а также спрогнозировать наступление «квинтуса», геофизически определяемого в будущем по финально широкому раскрытию евро-гондванской Северной Атлантики и последующему геострофически быстрому раскрытию Арктики как Второго Циркумполярного протоокеана Земли (ВЦО);

2) признать вхождение в состав Гондваназийского (ГАО) — Индийского и Тихого океанов, разделенных в настоящее время Индо-Китайским

полуостровом, а в ближайшем будущем и растущим Западно-Тихоокеанским талассогенно-орогенным поясом;

3) признать существование не Уральского или Палеоазиатского, а именно Евразийского протоокеана как второго после ПЦО широко раскрытого с протерозоя до пермо-триаса океана между Европой и Азией и от Анабарского щита до Аравийского; затем с середины триаса до неогена ЕАО представлял собой два крупных медленно мелеющих моря (Западно-Сибирское и Скифско-Туранское), связанные Ямал-Тургай-Каспийским прогибом от Карского моря до Месопотамского; в квартере ЕАО от Каспия до Карского побережья практически закрылся и пересох, но и сегодня сохранил внутри своей Центрально-Азиатской части — первопричину образования современного супер-континента Евразия в виде отрицательных аномалий поверхности геоида как остатков двух крупных гравитационных воронок прошлого (рис. 2);

4) признать биостратиграфически и геофизически не установленным точное расположение на современной геологической карте Евразии Первого Циркумполярного океана (ПЦО), давшего начало до-Эдиакарским предшественникам современных форм жизни; возможно лишь сузить площадь таких поисков зоной слияния ЕАО-ГАО-ЕГО, вероятно, от Месопотамии до Тибета.

С тектоно-структурных позиций нефтегазogeологического районирования развиваемая в данной статье грависейсмическая концепция пятиокеанической геострофы дает новое понимание плитной геодинамики с «неколлизонной» равновесно-сдвиговой природой межплитных границ, эпицентрными областями воздымания/прогибания и циклической сменой тектонических режимов на соседствующих друг с другом разных плитных сегментах.

Каждая из 8 современных геострофических плит Земли содержит уникально различный ресурсный потенциал шести основных первичных источников энергии для 7 существующих цивилизаций, заинтересованных в развитии добычи полезных ископаемых в Антарктиде и освоении восьмого энергетического региона в Арктике.

#### **Определение гравитации, 4 тектонических режимов и 4 геодинамических обстановок как главного источника и механизма геолого-энергетической эволюции нашей планеты**

В физике различают всего четыре фундаментальных типа взаимодействий. Это электромагнитные,

упруго-плотностные, ядерные сильные и слабые взаимодействия. Электромагнитные свойства описывают способность физических тел пропускать электрический ток и обладать магнитной поляризуемостью. А упруго-плотностные свойства определяют способность физических тел сохранять свои внешние формы и внутренний вес по дифференциальным законам волновых уравнений Ньютона — Гука, которые в большинстве случаев не имеют явного аналитического решения. Но именно из них следует: гравитация — это сейсмическое поле нулевой (инфранизкой) частоты от сильно различных по массе движущихся тел (АГО).

Силы земного притяжения также подчиняются этому определению, а их физическое измерение на поверхности земной коры и эквипотенциальной поверхности геоида (рис. 1, 2) в комплексе с сейсмологическими, электромагнитными, геодезическими и тектоно-стратиграфическими исследованиями дает геологам-геофизикам ясное понимание того, что:

1) внутреннее вещество Земли не находится в полностью жидко-расплавленном состоянии, так как в ином случае её внешняя поверхность давно бы приобрела правильные эллипсоидальные очертания;

2) существует много разных типов земной коры, но два из них: континентальный и океанический — максимально различаются своими мощностными и упруго-плотностными характеристиками, а два других обеспечивают циклический переход от одного к другому;

3) по геофизическим данным аномалий Буге и поверхности Мохо в земной коре достоверно выделяются её по-разному деформированные сегменты с различной геодинамической обстановкой и закономерно стадийным переходом от рифтогенного и талассогенного режимов к орогенному и эпейрогенному (Р-Т-О-Э).

При этом собственно сам горообразовательный процесс не является результатом дрейфа материков или их плитных коллизий, а постоянно протекает при всех четырёх режимах гравитационной деформации земной коры от минимальной до максимальной мощности из-за её стремления занять максимально равновесные эллипсоидальные формы внешней твёрдой поверхности.

По этой третьей ключевой позиции мировая геофизика сегодня должна быть благодарна малоизвестной советской монографии 1981 года Николая Андреевича Беляевского [2] из ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского, который, в отличие от большинства

советских «фиксистов» и «мобилистов» того времени, был критически настроен к евро-американским концепциям как «инверсионных геосинклиналей», так и «дрейфа континентов с коллизией тектоники плит». А поэтому и смог воодушевить свой талантливый коллектив, чтобы по аномалиям Буге и редким профилям ГСЗ выполнить обобщающие построения поверхности Мохо для всех континентов Земли. Но это была последняя работа Н.А. Беляевского, которая, изданная его учениками и соратниками, не получила должной оценки ни в России, ни за рубежом.

Конечно, это никак не умаляет его научного вклада, а, напротив, позволяет сегодняшнему поколению геологов-геофизиков твёрдо отстаивать российские приоритеты в мировой геологии и геофизике. А в те застойные годы сдачи передовых позиций советской геологии, её технологического отставания и полного переписывания в модных терминах «тектоники плит» Н.А. Беляевский, так же как В.В. Белоусов и некоторые другие советские геологи, никак не мог согласиться с тем, что «геофизически доказанный горизонтальный спрединг океанического дна автоматически означает дрейф жестких материковых плит с их обдукцией и субдукцией». Для того чтобы обосновать ведущую роль гравитации в деформировании земной коры, Н.А. Беляевский определил 5 типов тектонических режимов, из которых мы выбрали лишь 4, минимально необходимых для достаточно полного понимания всех историко-геологических особенностей земной коры на основе грависейсмических и тектоно-стратиграфических данных.

Итак, для максимально достоверного изучения 12 глобальных осадочных комплексов — сиквенсов (табл. 3) минимально необходимо всего четыре типа тектонических режимов квадроциклического развития земной коры. Это рифтогенный (Р) — талассогенный (Т) — орогенный (О) — эпейрогенный (Э) режимы, последовательная смена которых приводит к парагенетическому соседству 4 разных геодинамических обстановок: (ЭР)-(РТ)-(ТО)-(ОЭ) в границах каждой отдельной геострофической плиты воздымания или прогибания земной коры. В таком виде закон смены тектонических режимов осадконакопления (табл. 1—3), вытекающий из линейно-дифференциального уравнения эволюции земного рельефа [3, 7], окончательно был сформулирован в 2013 году при подготовке статьи [8] по запросу Л.П. Бовта и Е.Б. Груниса. По своему содержанию этот закон тектоно-сегментного районирования земной коры дополняет ранее

известный закон Головкинского — Вальтера формационно-фациального соседства в плане и разрезе, а также известные сиквенс-стратиграфические подходы Слосса, Вейла, Хака и других геологов по выделению глобальных несогласий и трех системных трактов: низкого, трансгрессирующего и высокого уровня моря.

#### **Геолого-геофизические парадоксы евро-американских концепций геосинклиналей и дрейфа континентов от Меркатора до наших дней**

Чтобы их объяснить, сначала нужно понять: почему «мобилистские» тектонисты для Северной Америки так активно используют термин Лаврентия и что такое в их понимании Лавразия или Лавруссия? Может, потому что физиографические объекты с именем Святого Лаврентия широко распространены как на востоке, так и на западе Северной Америки? Но ведь примерно так же обстоят дела и с именем Гудзон и некоторыми другими. И вообще двойных-тройных имен в англоязычных культурах очень много. Так, может быть, для того, чтобы геологически отделить Южную Америку от Северной? Или потому, что Амеразия и Амеруссия звучат неблагозвучно? А Гудазия и Гудруссия сильно не прагматично? Нет, не поэтому.

А потому, что большинство геологов-тектонистов ясно понимают, что все вышеперечисленные названия Америки не настоящие. Действительно, ведь в 1492 году Христофор Колумб открыл Ост-Индию, а десять лет спустя Америго Веспуччи определил её отдельное континентальное расположение. Материку сменили имя, а местное население продолжили называть индейским. Уже к 1595 году Меркатор составляет достаточно близкие к современным карты Америки, Африки, Европы, Азии и даже России от Прибалтики до Сибири. Сравните, например, контуры Балтийского и Черного морей по Меркатору (рис. 3, внизу) с плитно-тектоническими картами России 2008—2025 годов (рис. 4, слева).

Также на картах Меркатора конца XVI века достаточно точно изображены береговые линии востока Америки и запада Африки (рис. 3, внизу), согласованные изгибы которых не оставляют малейших сомнений об их исторической принадлежности одному общему расколотому Афро-Американскому материку, позднее названному Зюссом Гондваной. К 1912 году этот древний суперматерик исторически объединили с Европой (рис. 3, вверху) и в современном виде представляли его как два частично затопленных

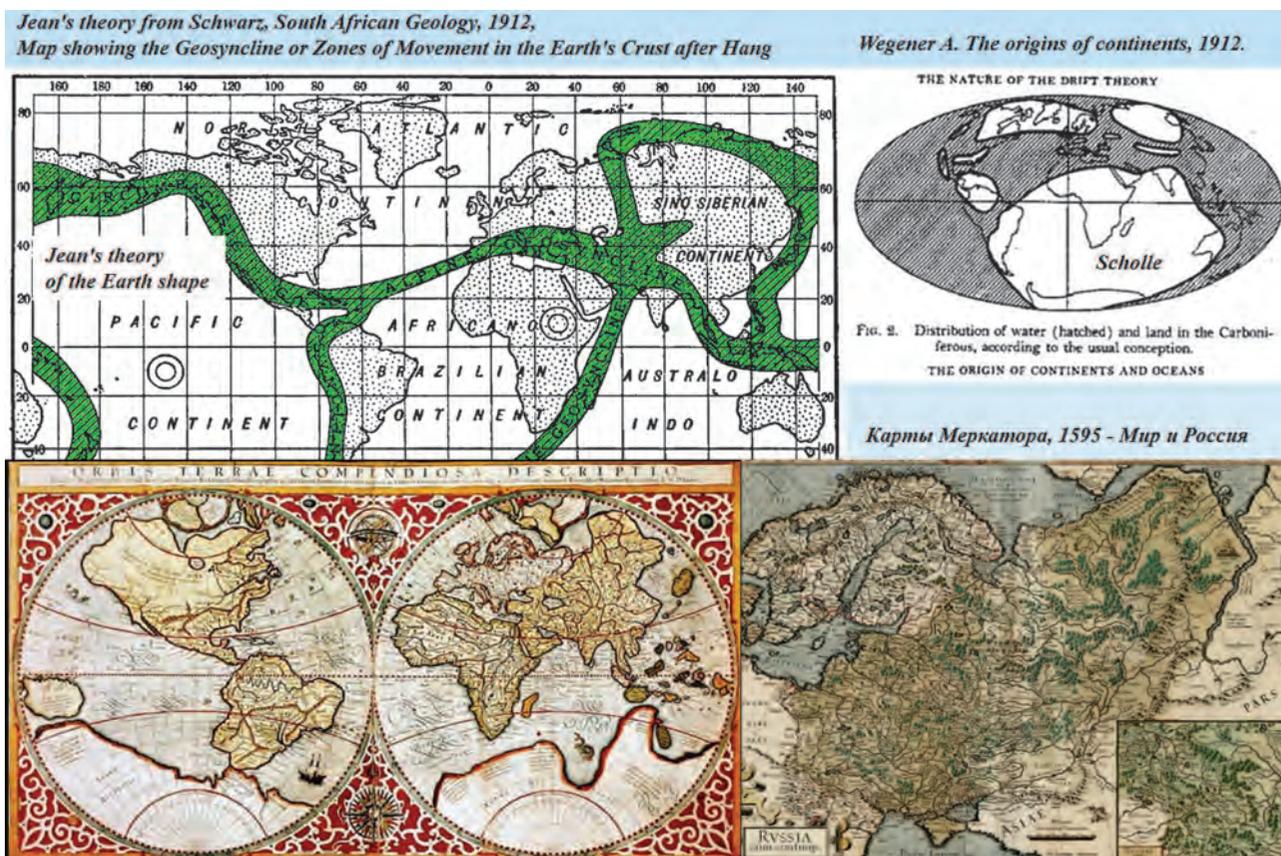


Рис. 3. Историко-геологические карты Меркатора (1595, внизу) и Шварца, Вегенера (1912, сверху)

<https://archive.org/details/southafricangeol00schwrich/page/36/mode/2up>

Bibcode:1912GeoRu...3..276W. doi: 10.1007/BF02202896. S2CID 129316588.

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Mercator\\_World\\_Map.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Mercator_World_Map.jpg)

[https://portulan.ru/wp-content/uploads/2025/01/Russia\\_Mercator\\_1595—1536x1142.jpg](https://portulan.ru/wp-content/uploads/2025/01/Russia_Mercator_1595—1536x1142.jpg)

Fig. 3. Historical maps from Mercator (1595, bottom) to Schwarz and Wegener (1912, top)

<https://archive.org/details/southafricangeol00schwrich/page/36/mode/2up>

Bibcode:1912GeoRu...3..276W. doi: 10.1007/BF02202896. S2CID 129316588.

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Mercator\\_World\\_Map.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Mercator_World_Map.jpg)

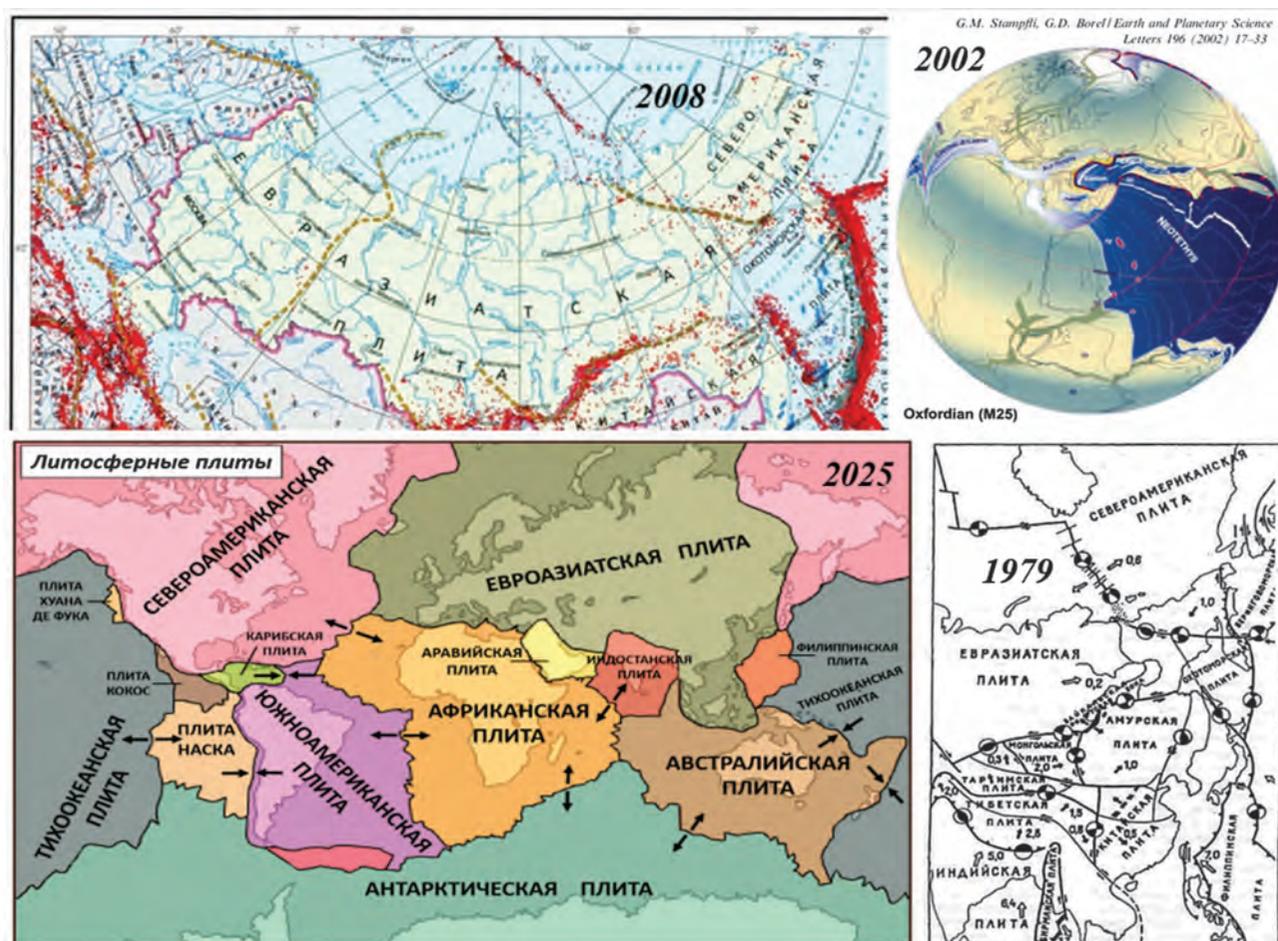
[https://portulan.ru/wp-content/uploads/2025/01/Russia\\_Mercator\\_1595—1536x1142.jpg](https://portulan.ru/wp-content/uploads/2025/01/Russia_Mercator_1595—1536x1142.jpg)

палеоконтинента: Северо-Атлантический и Afro-Бразильский, а по дну океана между ними проводили границу в виде молодой Альпийской геосинклинали. Но Альфред Вегенер [19], не признавший этой границы, в 1912 году обосновал плитно-тектоническую принадлежность обеих Америк к Африке и прогнозировал более молодой возраст океана между ними. Это вызвало такую бурю негодований и насмешек на 50 лет вперед, что она до сих пор не находит никакого разумного объяснения в среде евро-американских геологов, хотя вполне понятна за пределами этого круга.

Только в 1960—1970-е годы, после прямого получения молодых датировок океанического дна, доказавших отсутствие разделительной Альпийской геосинклинали на дне Центральной

Атлантики: (1) идеи Вегенера были спешно признаны как «тектоника плит с дрейфом материков, распадом Пангеи и образованием супер-Евразии», (2) прежняя теория геосинклинали развития, разработанная на примере Аппалачей и Альп, была решительно отвергнута как «фиксистская» и противоречащая «мобилизму» плит, (3) для Северной Америки в рамках новой тектоники плит с понятной старой целью стали использовать её третье имя — Лаврентия.

Сегодня благодаря Эдуарду Зюссу — австрийцу и почетному члену Санкт-Петербургской академии наук, установившему в 1860—1880-х годах тектоническую принадлежность Индии и Африки к суперконтиненту Гондвана (санскрит. *gondavana* — «лес гондов»), пришло время



**Рис. 4.** Схемы плитно-тектонического строения Евразии разных авторов. Обратите внимание на глобальную реконструкцию 2002 года Г.М. Стэмплля и Г.Д. Бореля оксфордской Лавразии и Гондваны [18], а также на положение западной границы Северо-Американской плиты на северо-востоке России по данным тектоники плит 1979, 2008 и 2025 годов

<https://www.mindat.org/reference.php?id=375706>

**Fig. 4.** Global plate tectonics reconstruction of Oxfordian's Laurasia and Gondwana (Stempfli, Borel, 2002) and various positions of the western borderline of the North American plate at northeastern Russia based on plate tectonics versions in 1979, 2008, 2025

<https://www.mindat.org/reference.php?id=375706>

признать геологически верным колумбовское название коренного населения Америки — индейцами/гондванцами, а северной и южным частям Америки вернуть тектонически точные названия — Гондвана Северная и Гондвана Западная. Так же как Индия с Индокитаем и Аравия с Мадагаскаром — это Гондвана Восточная, Африка — Гондвана Центральная, а Антарктида с Австралией — Гондвана Южная.

Западную и Среднюю Европу вместе с Северной Африкой тектонически следует определить как Еврогондвану, разделенную Тетисом в границах Средиземного моря по Э. Зюссу. Россию и её ближнее зарубежье

выделить как Среднюю Евразию в границах закрывшегося Евразийского протоокеана. А группу стран Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) с их западно-тихоокеанскими и восточно-индийскими побережьями тектонически определить как растущую Гондвазию с закрывающимся Гондваназийским протоокеаном от Аляски и Чукотки через Сахалин и Корею до Полинезии и Австралии (рис. 1).

В этой связи становится понятным, что собственно Лавразии и Лавруссии в тектонической истории Земли после раскола Протогеи никогда не могло существовать, потому что между Европой и древней Сибирью с многочисленными

Азиатскими террейнами с позднего протерозоя до кунгурского кризиса середины перми существовал крупный Евразийский протоокеан [4, 8], который широко был раскрыт до середины девона, а в карбоне стал мелеть и к пермо-триасу разделился на два крупных мезозойских моря: Западно-Сибирское и Скифско-Туранское.

К неогену оба этих моря сильно обмелели, сохранившись как Карское море на севере и Каспий с Аралом на юге. Но на широко известных евро-американских реконструкциях палеозоя-мезозоя Евразийский протоокеан увидеть, как правило, невозможно. Например, из публикации 2002 года Г.М. Стэмплера и Г.Д. Бореля [18] с глобальной реконструкцией оксфорда видно, как в это время развивались рифтовые системы Северной Атлантики и Восточной Африки, как широко был раскрыт НеоТетис, а Индия с Мадагаскаром и Антарктида с Австралией начали откалываться от Африки. Но при этом отсутствуют такие всем хорошо известные морские нефтегазоносные провинции юрского периода, как Западно-Сибирская — от Томска до Урала и Ямала, а также Скифско-Туранская, включающая Средний Каспий, Бузачи, Мангышлак и другие западно-азиатские бассейны (рис. 4, сверху справа).

Вытекающие отсюда недостоверные плитно-тектонические выводы о том, что российский сектор Среднего Каспия абсолютно бесперспективен на мезозойскую нефть, а в оксфорде Средне-Евразийские морские бассейны от Енисей-Хатангского прогиба до Предкавказья и Среднего Каспия все целиком представляли собой субконтинентальную сушу, абсолютно не верны и они не соответствуют успешному развитию нефтедобычи из триас-нижнеюрских и юрско-нижнемеловых резервуаров на Среднем Каспии и Западной Сибири. С пермо-триаса до средней юры огромный Западно-Сибирский регион [3—9] развивался как межостровное море ЕАО с высокими вулканическими островами типа Кузнецкого Алатау с извилистыми побережьями и песчаниками вогулкинской толщи, а с баженовского времени до неогена здесь развивался широкий мелководный шельф Западно-Сибирского моря со всеми известными колебаниями уровня Мирового океана и глобальными сиквенсами мезозоя.

Также на сейсмоструктурных картах современной Европы с выделением четырёх тектонических обстановок по изогипсам горизонта Мохо (2016) отчетливо видно, что вместо классически изометричного Балтийского щита на севере Средней

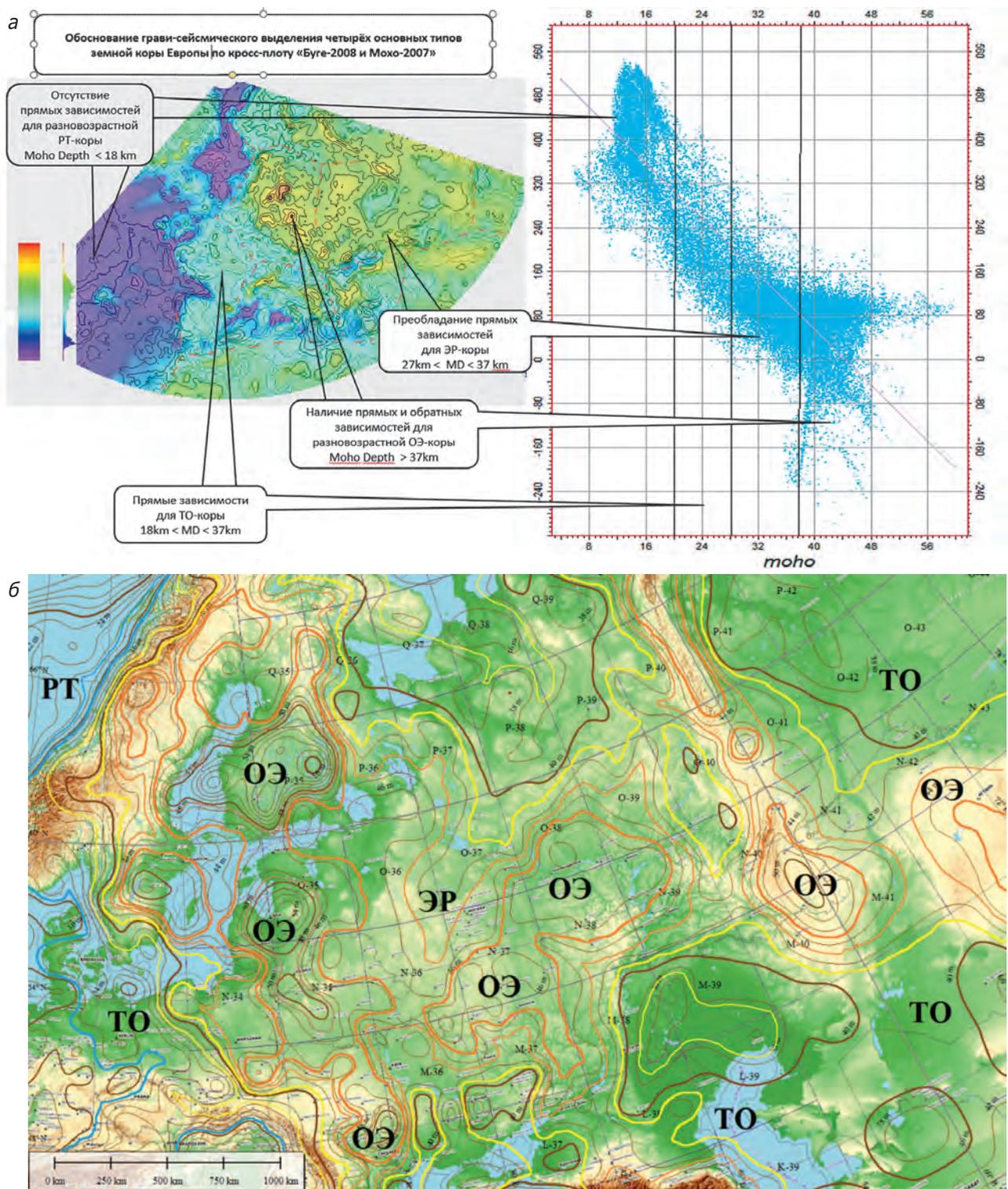
и Восточной Европы существует древний субмеридиональный орогенно-эпейрогенный сегмент повышенной мощности земной коры от Северной Швеции и Южной Финляндии через Латвию и Белоруссию до Украины и Молдавии (рис. 5б). По данным геологического изучения нефтегазовых месторождений Калининграда, Восточной Польши и Западной Украины явно видно, что эта древняя структура существовала в протерозой-палеозойское время как региональный мегавал, отделявший Евразийский протоокеан (ЕАО) от Еврогондванского (ЕГО).

Восточнее Балтийско-Молдавского мегавала расположены Воронежский и Токмовский своды Русской плиты, которые не полностью разделяли верхнепалеозойские нефтегазовые провинции Тимано-Печоры и Волго-Урала от Прикаспийской, Скифско-Туранской и Западно-Сибирской, сохраняя свободное морское сообщение между ними. Но к середине перми после воздымания Южного Урала и Кокчетавского массива их морская связь в результате кунгурского кризиса частично прекратилась, хотя уже к началу среднего триаса она полностью восстановилась через Тургайский пролив между Скифско-Туранским и Западно-Сибирским морями мезозоя.

На основании вышеизложенного становится ясным, что Россия в границах Меркатора от Тимано-Печоры до Каспия и Сибири, покрытая обширными морями ЕАО, не могла быть ни в палеозое, ни в мезозое сухопутным мостом из Европы в Восточную Сибирь и тем более в Азию. Поэтому не могло существовать никакой Лавруссии или Лавразии, сухопутно связанных в палеозое с северо-гондванской Лаврентией. При этом в границах прото-Средиземного моря (Тетиса) и прото-Атлантики (Япетуса) ЕГО, конечно, существовал на протяжении всего палеозоя, но в недораскрывшемся состоянии. Южные и Центральные-Атлантические ветви этого океана начали развиваться с середины карбона — ранней перми, затем соединившись на юге с индоокеанскими ветвями ГАО, достигли в кунгурское время локального максимума рифтогенного раскрытия. В активную фазу талассогенного раскрытия они вступили только в конце пермо-триаса, которая и продолжается до настоящего времени. Но Северная Атлантика по сравнению с ними до сих пор находится в недоразвитой рифтогенно-талассогенной обстановке.

Также необходимо отметить, что еще до всеобщего признания «мобиристской» концепции Вегенера один из самых выдающихся знатоков геологии

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ /  
 GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION



**Рис. 5.** Грависейсмическое выделение: (а) четырёх основных типов земной коры Европы по кросс-плоту «Буге-2008 / Мохо-2007»; (б) четырёх геодинамических обстановок Восточной Европы по карте глубин Мохо 2016 года <https://www.seismo.helsinki.fi/mohomap/>

**Fig. 5.** Gravi-seismic identification — (a) of 4 main types of the European crust according to the cross-plot Bouguer-2008 versus Moho-2007; and (b) of the 4 geodynamic settings of the East Europe on the base 2016 map of Moho depth <https://www.seismo.helsinki.fi/mohomap/>

Северной Америки от Кордильер до Аппалачей Л.Л.Слосс [16] в 1948—1963 годах успешно применял межрегиональную схему сиквенс-стратиграфического расчленения осадочного чехла Северной Америки от докембрия до неогена на 6 глобальных сиквенсов (табл. 3). В качестве их названий он использовал имена шести крупных индейских племен «Indian-tribe sequences», которые в кровле и подошве ограничены глобальными несогласиями. Последующее бурение глубокого дна океанов и сиквенс-интерпретация данных глубоководной сейсморазведки в «Эксоне» и других американских компаниях 1960—1970-х годов не только принципиально подтвердили концепцию Вегенера в части раздвига и более молодого возраста океанического дна (по сравнению с прибрежными бассейнами), но и однозначно доказали существование сиквенсов Слосса с унда-, клино-, фондоформными обстановками в глубоких морских бассейнах.

В 1977 году глобальные кривые Вейла — Хака с относительными колебаниями уровня моря были опубликованы в «Seismic stratigraphy: Applications to hydrocarbon exploration». Но уже в 1988 году Слосс [17] настаивает, что его шесть сиквенсов не ограничиваются одной Северной Америкой и отражают больше, чем колебания уровня моря «Indian-tribe sequences were not limited to the North America» & «reflect more than sea-level change». А в 1997 году Альшархан и Найрн в объемном «Справочнике осадочных комплексов Среднего Востока» [14] раскрывают формационную структуру и площадное развитие Северо-Американских сиквенсов по всему Месопотамскому нефтегазосносному региону.

В заключение этого перечня плитно-тектонических парадоксов отметим, что в евроамериканских публикациях существование ЕАО, так же как Америки, обычно не отрицают, но, видимо, намеренно скрывают под тремя разными названиями: Уральский, Палеоазиатский или Туркестанский. По результатам анализа геологических карт Срединной Евразии становится очевидным, что в рифей-венде этот океан имел обширные морские шельфы, а с конца протерозоя граничил с четырьмя другими океанами, почти синхронно с ним образовавшимися, но с разной степенью рифтогенно-талассогенного раскрытия. К югу от ЕАО располагался ПЦО, на востоке — ГАО, на западе — ЕГО, а на севере — ВЦО. Именно этой тектонической обстановкой объясняется уникально высокий минерально-сырьевой потенциал Срединной Евразии, поскольку

все пять протоокеанов, возникших в протерозое, имели разную ширину и глубину своего спредингового раскрытия. Сильное влияние океанов друг на друга и их суммарное воздействие на более древние материки отмечалось на протяжении всего фанерозоя и продолжается в настоящее время.

Таков пятиокеанический пульс Земли. Но не горизонтальный дрейф литосферных плит, а процессы гравитационного выравнивания твёрдой внешней поверхности Земли, стремящиеся привести её к эквипотенциально-равновесному устойчивому состоянию, являются главным движущим механизмом как горизонтальных, так и вертикальных деформаций земной коры с разными осадочными бассейнами. Ведущую роль в геофизическом понимании этих сложных процессов принадлежит гравиметрическим методам выявления эпицентров прогибания/воздымания разных геострофических плит и их равновесно-сдвиговых трансформных дислокаций, но никак не «коллизийных фронтов литосферных плит». Убедительным доказательством тому является, как правило, морфологически более сложный характер дислокаций на мощной коре орогенного типа, чем на более тонкой молодой базальтовой коре талассогенного типа с квазиравновесным спредингом океанического дна.

Конечно, древних океанических бассейнов в истории Земли можно было бы выделить очень много, но пять — это их минимальное количество, которое образуется при глобальном расколе земной коры трехлучевым рифтом. А судя по современному океанографическому расположению сейсмоактивных поясов (рис. 1), таких трехлучевых рифтов было и есть довольно много. Но именно первый из них, трехматериковый проторифт, определил актуальную 5-океаническую геострофу земной коры, находящуюся ныне в ожидании перехода из квартера в квинтус — эру широкого раскрытия в Арктике последнего пятого протоокеана ВЦО. Как быстро и с какими энерго-экономическими последствиями для человечества будет протекать эта пятая протоокеаническая геострофа Земли? Каким из 7 существующих региональных цивилизаций грозят наибольшие климатические угрозы при неминуемом широком раскрытии Арктики и квинтус-геострофических изменениях? В каких новых направлениях и методах геолого-геофизического прогнозирования нам следует двигаться, чтобы получить достоверно устойчивый прогноз глобального энергетического развития? Таков далеко не полный перечень актуальных

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

вопросов современной физики земной коры и её геоэкономического освоения.

### Заключение

На основе известных результатов грави-магнитометрических (Э.Э. Фотиади, А.В. Ладынин и др.) и сейсмологических исследований земной коры (Н.Н. Пузырёв, С.В. Крылов, С.В. Гольдин, А.С. Алексеев, И.С. Чичинин и др.), а также нефтегазопроисследовательских работ в Прикаспии, Западной и Восточной Сибири, Тимано-Печоре и Волго-Урале, Центральной Азии и Среднем Востоке (А.А. Трофимук, Н.Н. Лисовский, В.Ю. Керимов, Е.Б. Грунис, В.С. Сурков, О.Г. Жеро, Ф.Г. Гурари, А.Э. Конторович, В.П. Мангазеев, В.И. Биджаков, Р.С. Хисамов и др.), а также личного участия автора в производственных работах «Сибнефтегеофизики» и инжиниринговых центров разных нефтяных компаний («ТомскНефть ВНК», ЮКОС, ЛУКОЙЛ, «Союзнефтегаз») было собрано и проанализировано с единых позиций свыше 480 инвестиционных проектов в нефтедобыче и геологоразведке. В 2006—2010 годах методика и результаты геолого-математического моделирования и сейсмоформационного анализа были частично изложены в трех монографиях, а в 2013—2015 годах количественные оценки геолого-технологической успешности нефтегазопроисследовательских проектов в России 1992—2011 гг. были опубликованы в пяти отраслевых журналах.

Но наиболее важным источником этих работ была четырёхформационная модель осадочного комплекса [3, 7], которая планомерно апробировалась для разных нефтегазопроисследовательских и добычных проектов. Так, по мере накопления фактических материалов постепенно стало понятно, что вместо трех популярных на Западе унда-, клино-, фондоформных обстановок Рича и «системных трактов низкого, трансгрессивного и высокого уровня моря» в сиквенсах Слосса, Вейла, Хака и др. существует не 3, а 4 обязательных к вычленению типа осадочных формаций.

Затем вычленение шести глобальных сиквенсов Слосса (на основе сейсмогеологических материалов по Средней Евразии и Среднему Востоку [8]) было увеличено до минимально необходимого числа 12, а в каждом из них было выделено не менее 4 формаций UST-MST-DST-LST (растущего, максимального, падающего и низкого) уровня моря. К настоящему времени данная методика успешно апробирована не только почти во всех нефтегазоносных провинциях России, но также была применена для разрезов Пенсильвании

и Канзаса, где их высокодетальную стратиграфическую колонку 1968 года, используемую до настоящего времени Геологической службой США, удалось унифицировать в однотипные 4-формационные осадочные комплексы, а затем произвести тотальное вычленение всех пачек нефтегазоматеринских пород (НГМП) в составе так называемых «сланцевых сэндвичей»: UST-MST-DST. Так, в частности, выяснилось, что в составе только одного Прикаспийского (РС/пенсильванский-нижнепермский) сиквенса Абрасока штата Канзас существует всего 87 НГМП, геологически пригодных для добычи сланцевых УВ. Исходя из чего и во всех регионах России следует провести единообразный аудит нефтегазогенерационного потенциала всех выявленных MST-формаций.

Но все же до самого последнего времени нам оставалось не до конца понятным — почему такой 4-формационный анализ удается проводить в самых разных частях света. С этим вопросом мы обратились к трудам Н.А. Беляевского и других российских геологов-геофизиков, не являющихся преданными сторонниками коллизионной тектоники плит. По выводам большинства из них ошибочность многих выводов евро-американской версии тектоники плит кроется в убежденности её сторонников в том, что не гравитация, а восходящие и нисходящие потоки мантийного вещества являются главной силой, движущей литосферные плиты, «как льдины по воде». В России же, наоборот, например Е.Б. Грунис [11] утверждал, что «магматизм полностью подвластен законам термодинамики» и потому не может быть первопричиной контрастных деформаций её литосферы. Мы с такой оценкой согласны и безусловно считаем магматизм важным, но частным проявлением гравитационного сжатия Земли, приводящим к плавлению её внутреннего вещества. Крупные осадочные провинции и гигантские по площади океаны, высокие горы и глубокие желоба образуются на её внешней поверхности не в результате межплитных коллизий, вызванных мантийными потоками, а в результате стремления внешней поверхности под действием гравитационного вращения принять максимально равновесную форму, близкую к эллипсоидальной поверхности.

Среди западноевропейских геологов сходной концепции ведущей роли силы тяжести сначала придерживался Рейн Ван Беммелен (Bemmelen). Однако в яростной борьбе плитной тектоники с геосинклиналями он занял промежуточную позицию, и, чтобы субдуктировать его гравитационную

концепцию под плитную тектонику, в США был издан даже целый сборник статей 1973 года, посвященный Ван Беммелену [10], но в котором американские геологи: Джонг из Пенсильвании, Шолтен из Огайо и другие — без достаточных оснований (и в явном противоречии Ньютону и Лейбницу) объявили гравитацию в тектонике «одной из многих причин деформации земной коры», «меняющейся от места к месту» и «зависящей в основном от масштаба наблюдений». К сожалению, такая геофизически абсурдная точка зрения сегодня господствует не только у евро-американских, но и у многих российских геологов.

Но все же после предметных обсуждений со старшим поколением российских геологов-тектонистов ведущей роли силы тяжести в циклической смене четырёх тектонических режимов с разными упруго-плотностными характеристиками земной коры нам в итоге удалось выработать новую концепцию 5-океанической геострофы, включающую: 1) первоначально трехлучевой эпейрогенно-рифтогенный (ЭР) распад Протогеи на Гондвану, Европу и Азию с Сибирью; 2) последующую рифтогенно-талассогенную (РТ) обстановку поочередно спредингового раскрытия пяти протоокеанов до максимального размера; 3) талассогенно-орогенные (ТО) и орогенно-эпейрогенные (ОЭ) деформации земной коры, приведшие в итоге к циклической (гравитационно-детерминированной) смене четырёх тектонических режимов и современному образованию восьми геострофических плит, однозначно выделяемых по грависейсмическим данным.

Так, на основе грависейсмического оконтуривания геострофических плит и литосферных сегментов с последующим четырёхформационным расчленением 12 глобальных сиквенсов в разных регионах мира сформировалась наша новая геофизически детерминированная концепция ProtoGEA глобальной протерозой-кайнозойской эволюции трех протоматериков и пяти протоокеанов, согласно которой наиболее раскрытыми в докембрии и раннем палеозое были ПЦО и ЕАО (AG1).

К настоящему времени оба этих протоокеана почти полностью закрылись, превратившись

в сухопутные равнинные и горные осадочные бассейны с бессточными озерами. Но именно в базальных осадках ПЦО, ЕАО и, вероятно, ГАО сохранились фоссилии наиболее древних форм бесскелетной (эдиакарской, рифей-вендской и др.) жизни. Важным последствием существования этих трех протоокеанов является современный суперконтинент Евразия, в границах которого сохранились остатки двух древних гравитационных воронок (рис. 2): Южно-Сибирская и Центрально-Азиатская, достоверно выделяемые на современной поверхности геоида (AG2).

Наиболее контрастная третья гравитационная воронка расположена на южном шельфе Индии и Шри-Ланки. Именно она в геологическом масштабе времени обеспечивает режим дальнейшего укрупнения Евразии с закрытием ГАО в составе Индийского и Тихого океанов с окружающими их талассогенно-орогенными поясами и глубоко-водными желобами (AG3).

Четвертый океан, ЕГО, в исторической тектоно-стратиграфии известен как недоразвитый или циклически закрывающийся/раскрывающийся Япетус с Тетисом, которые в позднем докембрии отделили Северную и Центральную Гондвану от Европы с образованием прото-Атлантики и прото-Средиземноморья (AG4).

Пятый наименее раскрытый древний океан ВЦО — это Северный Ледовитый океан. Сегодня он представляет самую малую восьмую геострофическую плиту (рис. 2) — Арктику трапециевидной формы с седловинно-сдвиговыми границами (AG5).

В целом земная кора сегодня (рис. 1) представляет собой два равновесных полушария, содержащих четыре плиты геострофического прогибания (Евразийская, Восточно-, Северо- и Южно-Гондванские), три плиты геострофического воздымания (Западно-Гондванская, Гондваназийская и Еврогондванская) и одну Арктическую плиту седловинного сочленения 4 геострофических плит северного полушария (AG6).

На 7 геострофических плитах из 8 за последние 200 лет отмечается бурный рост 7 разных энергетических цивилизаций, а восьмая цивилизация в Арктике лишь ожидает своего развития.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Амон А.Э., Алексеев В.П., Глебов А.Ф., Савенко В.А., Федоров Ю.Н. Стратиграфия и палеогеография мезозойско-кайнозойского осадочного чехла Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь). Екатеринбург, 2010. 257 с.
2. Беляевский Н.А. Строение земной коры континентов по геолого-геофизическим данным. М.: Недра, 1981. 432 с.
3. Глебов А.Ф., Кужелев В.Г., Максимов В.П. Методика и результаты сейсморазведочного изучения геологической истории развития нефтеносных площадей на основе линейной теории однородных

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

- тектонно-седиментационных процессов. Актуальные вопросы геологии и географии Сибири. Томск: ТГУ, 1998. Т. 2. С. 47—51.
4. Глебов А.Ф., Карапузов Н.И., Кривошеев Э.В. и др. Новые 3Д-сейсморазведочные данные о доюрском фундаменте юго-восточной части Западной Сибири. *Геофизика*. 1999. № 2. С. 27—40.
  5. Глебов А.Ф., Кошовкин И.Н., Мангазеев В.П. и др. Эффективность трехмерной сейсморазведки 3Д-МОГТ на этапе уточнения запасов и оптимизации эксплуатационного бурения. *Нефтяное хозяйство*. 1999. № 5. С. 22—26.
  6. Глебов А.Ф., Кошовкин И.Н., Кривошеев Э.В. и др. Уточнение геологического строения Томских месторождений. *Вестник Инжинирингового Центра ЮКОС*. 2001. № 1. С. 27—32.
  7. Глебов А.Ф. Геолого-математическое моделирование нефтяного резервуара: от сейсмики до геофлюидодинамики. М.: Научный мир, 2006. 344 с.
  8. Глебов А.Ф. Нефтегазовая сейсмостратиграфия Восточного Средиземноморья, Северной Аравии, российского Прикаспия с целью выявления крупных ловушек инверсионного типа. *Технологии сейсморазведки*. 2013. № 2. С. 80—97.
  9. Глебов А.Ф. Количественная оценка геолого-технологической успешности и рисков нефтегазо-поисковых работ в России в 1992—2011 гг. и прогноз до 2021 г. *Нефтяное хозяйство*. 2013. № 1. С. 9—13.
  10. Гравитация / Сила тяжести и тектоника. Сборник статей «Gravity and tectonics», 1973 / Под ред. К.А. Де Джонга, Р. Шолтена. М.: «Мир», 1976. 504 с.
  11. Грунис Е.Б. Новые представления теории геологических процессов и перспектив нефтегазоносности Русской платформы. *Георесурсы*. 2012. № 6(48). С. 63—71.
  12. Нестеров В.Н., Харахинов В.В., Семянов А.А., Шленкин С.И., Глебов А.Ф. Геологическая доразведка нефтяных месторождений Нижневартовского Приобья. М.: Научный мир, 2006. 192 с.
  13. Пузырёв Н.Н. Методы и объекты сейсмических исследований. Введение в общую сейсмологию. Новосибирск: СО РАН: ОИГГМ, 1999. 299 с. ISBN 5-7692-0033-2.
  14. Alsharhan A.S., Nairn A.E.M. Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East. Library of Congress USA. 1997/2003. 843 p.
  15. Peterson J.A., Wilson J.L. Petroleum Stratigraphy of the Northeast Africa-Middle East Region. Department of the interior U.S. geological survey. Open-File Report 87-85. 43 p.
  16. Sloss L.L. Sequences in the cratonic interior of North America. 1963. Vol. 74. P. 93—114.
  17. Sloss L.L. Forty years of sequence stratigraphy. *GSAB*. 1988. Vol. 100, No. 11. P. 1661—1665.
  18. Stempfli G.M., Borel G.D. Earth and Planetary Science Letters, 2002. P. 17—33.
  19. Wegener A. The origins of continents. *Int Journ Earth Sciences* 91 (Suppl 1). 2002. P. s4—s17.
  20. Zonenshain L.P., Kuzmin M.I., Natapov L.M. Geology of the USSR: A Plate-Tectonic Synthesis. *Geodynamics Series of American Geophysical Union*, Vol. 21, Washington D.C. 1990. 242 p.

### REFERENCES

1. Amon A.E., Alekseev V.P., Glebov A.F., Savenko V.A., Fedorov Yu.N. Stratigraphy and paleogeography of the Mesozoic-Cenozoic sedimentary cover of the Shaim oil and gas region (Western Siberia). *Ekaterinburg*. 2010. 257 p. (In Russ.).
2. Belyaevsky N.A. Structure of the earth's crust of the continents according to geological and geophysical data. Moscow: Nedra, 1981. 432 p. (In Russ.).
3. Glebov A.F., Kuzhelev V.G., Maksimov V.P. Methodology and results of seismic exploration study of the geological history of the development of oil-bearing areas based on the linear theory of homogeneous tectonic-sedimentary processes. *Actual issues of geology and geography of Siberia*. Tomsk: TSU, 1998. Vol. 2. P. 47—51 (In Russ.).
4. Glebov A.F., Karapuzov N.I., Krivosheev E.V., et al. New 3D seismic exploration data on the pre-Jurassic basement of the south-eastern part of Western Siberia. *Geophysics*. 1999. No. 2. P. 27—40 (In Russ.).
5. Glebov A.F., Koshovkin I.N., Mangazeev V.P., et al. Efficiency of three-dimensional seismic exploration 3D-MOGT at the stage of reserves refinement and optimization of production drilling. *Oil industry*. 1999. No. 5. P. 22—26 (In Russ.).
6. Glebov A.F., Koshovkin I.N., Krivosheev E.V., et al. Clarification of the geological structure of Tomsk fields. *Bulletin of the Engineering Center of YUKOS*. 2001. No. 1. P. 27—32.
7. Glebov A.F. Geological and mathematical modeling of an oil reservoir: from seismics to geofluid dynamics. Moscow: Scientific World, 2006. 344 p. (In Russ.).
8. Glebov A.F. Oil and gas seismic stratigraphy of the Eastern Mediterranean, Northern Arabia, the Russian Caspian region in order to identify large inversion traps. *Seismic exploration technologies*. 2013. No. 2, P. 80—97 (In Russ.).
9. Glebov A.F. Quantitative assessment of geological and technological success and risks of oil and gas exploration in Russia in 1992—2011 and forecast until 2021. *Oil industry*. 2013. No. 1. P. 9—13 (In Russ.).
10. Gravity and tectonics. Edited by K.A. De Jong, R. Scholten, 1973, John Wiley and Sons, Inc. Collection of articles. Moscow: Mir Publ., 1976. 504 p. (In Russ.).
11. Grunin E.B. New concepts of the theory of geological processes and oil and gas potential of the Russian platform. *Georesources*. 2012. No. 6(48). P. 63—71 (In Russ.).
12. Nesterov V.N., Kharakhinov V.V., Semyanov A.A., Shlenkin S.I., Glebov A.F. Geological exploration of oil fields of the Nizhnevartovsk Ob region. Moscow: Scientific World, 2006. 192 p. (In Russ.).
13. Puzyrev N.N. Methods and objects of seismic studies.

- Introduction to general seismology. Novosibirsk: OIGGM, 1999. 299 p. (In Russ.). ISBN 5-7692-0033-2.
14. Alsharhan A.S., Nairn A.E.M. Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East. Library of Congress USA. 1997/2003. 843 p.
  15. Peterson J.A., Wilson J.L. Petroleum Stratigraphy of the Northeast Africa-Middle East Region. Department of the interior U.S. geological survey. Open-File Report 87-85. 43 p.
  16. Sloss L.L. Sequences in the cratonic interior of North America. 1963. Vol. 74. P. 93—114.
  17. Sloss L.L. Forty years of sequence stratigraphy. GSAB. 1988. Vol. 100, No. 11. P. 1661—1665.
  18. Stempfli G.M., Borel G.D. Earth and Planetary Science Letters, 2002. P. 17—33.
  19. Wegener A. The origins of continents. Int Journ Earth Sciences 91 (Suppl 1). 2002. P. s4—s17.
  20. Zonenshain L.P., Kuzmin M.I., Natapov L.M. Geology of the USSR: A Plate-Tectonic Synthesis. Geodynamics Series of American Geophysical Union, Vol. 21, Washington D.C. 1990. 242 p.

### ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Глебов А.Ф. — свыше 40 лет участвовал в научно-производственных работах инжиниринговых центров разных компаний («Сибнефтегеофизика», «ТомскНИПИнефть ВНК», ЮКОС, ЛУКОЙЛ, «Союзнефтегаз»), что позволило: 1) собрать и с единых грависейсмических позиций обобщить геолого-геофизические материалы свыше 480 нефтедобычных и поисковых проектов в России и разных регионах мира; 2) обосновать современное существование 8 плит геострофического прогибания/воздымания земной коры по данным геоида и 4 типов литосферных сегментов по структурным построениям горизонта Мохо; 3) подготовить статью и кратко изложить ключевые понятия и выводы, вытекающие из ведущей роли гравитации в тектонической эволюции земной коры с поэтапным раскрытием 5 протоокеанов между 3 протоматериками; 4) утвердить итоговый текст для публикации новой тектонической концепции пятиокеанической геострофы и согласиться с ответственностью за все этапы работы.

Alexey F. Glebov — participated for over 40 years R&D activity at Engineering Centers of various companies (Sibneftegeofizika, TomskNIPIneft, YUKOS, LUKOIL, Soyuzneftegaz) which allowed to: 1) from a unified gravi-seismic concept, collect and summarize G&G data from over 480 oil production and exploration projects in Russia and various regions of the world; 2) justify the modern existence of 8 plates of geostrophic subsidence/uplift of the earth's crust based on geoid data and 4 types of lithospheric segments based on the Moho depth; 3) prepared the text of the article and briefly outline the key conclusions arising from gravity-determined concept in the tectonic evolution of the earth's crust as a result of the gradual disclosure of 5 oceans between 3 proto-continent; 4) approve the final version for publication of a new tectonic concept of five-oceanic geostrophe and agree to take responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Глебов Алексей Фёдорович** — директор по разведке и разработке МГНК «Союзнефтегаз», почетный нефтяник (Минэнерго РФ, 2011), доктор геолого-минералогических наук (2006), кандидат технических наук (1992), золотая медаль Академии наук СССР (1985), автор 3 монографий и свыше 60 статей.

9, Дегтярный переулок, г. Москва 125009, Россия

e-mail: [GlebovAF@sng.msk.ru](mailto:GlebovAF@sng.msk.ru)

тел.: +7 (495) 411-53-33

SPIN-код: 2306-6725

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5080-0450>

**Alexey F. Glebov** — director of Exploration & Development at International Group of Companies Soyuzneftegaz, Honorary Oilman of Russian Ministry Energy (2011), Dr. Sci. (Geol.-Mineral., 2006), Cand. Sci. (Tech., 1992), Gold Medal of USSR Academy of Sciences (1985), author of 3 monographs and over 60 articles.

9, Degtyarny lane, Moscow 125009, Russia

e-mail: [GlebovAF@sng.msk.ru](mailto:GlebovAF@sng.msk.ru)

tel.: +7 (495) 411-53-33

SPIN-code: 2306-6725

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5080-0450>



## ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ, СВЯЗАННЫХ С ВРЕМЕННЫМИ ВАРИАЦИЯМИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

Р.Р. НИГМАТУЛЛИН<sup>1</sup>, А.П. БЕЛОВ<sup>2</sup>, А.М. ЕРОХИН<sup>3,\*</sup>, А.Р. МУХАМЕТЗЯНОВ<sup>2</sup>,  
В.Н. КОНЕШОВ<sup>4</sup>, М.Н. ДРОБЫШЕВ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева  
10, ул. К. Маркса, г. Казань 420111, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

<sup>3</sup> ООО «Петровайзер»  
4, корп. 2, ул. Макарова, г. Тверь 170002, Россия

<sup>4</sup> Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук  
10, стр. 1, ул. Большая Грузинская, г. Москва 123242, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Изучение временных вариаций гравитационного поля Земли представляет собой актуальную задачу современной геофизики, особенно в контексте анализа влияния внешних и внутренних факторов на силу тяжести. Традиционные подходы к моделированию гравитационного поля основаны на теоретически заданных предположениях, что ограничивает их применимость в условиях высокой вариативности геодинамических процессов.

**Цель.** Разработка и апробация инновационного подхода к построению математических моделей временных изменений гравитационного поля, не опирающегося на заранее заданные теоретические модели, а базирующегося на эмпирических данных и феноменологическом описании случайных процессов.

**Материалы и методы.** Экспериментальная часть исследования была реализована на фундаментальном гравиметрическом пункте «Ледово» с использованием группы гравиметров различных типов. Проведены инструментальные измерения вариаций силы тяжести. Для анализа полученных данных использовались спектрально-статистические методы и преобразование Фурье. Особое внимание уделено сравнению показателей, зарегистрированных различными приборами. Дополнительно применялась процедура оптимального линейного сглаживания (ПОЛС) для построения обобщенной модели гравитационных вариаций.

**Результаты.** Анализ показал высокую степень согласованности измерений: коэффициент корреляции между гравиметрами ГНУ-КВ и СГ-6 превысил 0,9, что подтверждает идентичность их спектральных характеристик и надежность данных. При этом установлено, что однозначное математическое описание вариаций затруднено из-за влияния слабоизученных геодинамических и случайных факторов. Построенная модель, основанная на ПОЛС, позволяет совместить элементы известных теоретических построений с учетом влияния «гостевых» процессов — внешних и локальных факторов неясной природы.

**Заключение.** Предложенный безмодельный подход и использование процедуры оптимального линейного сглаживания открывают новые возможности для более точного и гибкого описания временных вариаций гравитационного поля Земли. Разработанный методический подход может быть полезен при дальнейшем изучении геофизических процессов и развитии методов мониторинга изменений гравитационного поля.

**Ключевые слова:** временные колебания силы тяжести, вариации гравитационного поля, гравиметры, математические модели, феноменологическое моделирование, безмодельный подход, спектрально-статистический анализ, корреляция

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Нигматуллин Р.Р., Белов А.П., Ерохин А.М., Мухаметзянов А.Р., Конешов В.Н., Дробышев М.Н. Построение и анализ некоторых математических моделей, связанных с временными вариациями гравитационного поля. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(2):76—94. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-76-94> EDN: [JSULIZ](https://www.jsuliz.ru)

Статья поступила в редакцию 25.12.2024

Принята к публикации 04.04.2025

Опубликована 30.06.2025

\* Автор, ответственный за переписку

## CONSTRUCTION AND ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS DESCRIBING TEMPORAL VARIATIONS OF EARTH'S GRAVITY FIELD

RAOUL R. NIGMATULLIN<sup>1</sup>, ALEXEY P. BELOV<sup>2</sup>, ALEXANDR M. EROKHIN<sup>3,\*</sup>, AMIR R. MUKHAMETZYANOV<sup>2</sup>,  
VYACHESLAV N. KONESHOV<sup>4</sup>, MIKHAIL N. DROBYSHEV<sup>4</sup>

<sup>1</sup> A.N. Tupolev Kazan National Research Technical University  
10 K. Marx str., Kazan 420111, Russia

<sup>2</sup> Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23 Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

<sup>3</sup> Petroviser LLC  
4, bldg. 2, Makarova str., Tver 170002, Russia

<sup>4</sup> Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences  
10, bldg. 1, Bolshaya Gruzinskaya str., Moscow 123242, Russia

### ABSTRACT

**Background.** The study of temporal variations in the Earth's gravity field is a pressing challenge in modern geophysics, particularly in the context of analyzing the impact of external and internal factors on the gravity force. Conventional approaches to modeling the gravity field are based on predefined theoretical assumptions, which limits their applicability under conditions of high variability of geodynamic processes.

**Aim.** To develop and test an innovative approach to constructing mathematical models of temporal gravity field variations, which employs empirical data and a phenomenological description of random processes rather than relies on predefined theoretical frameworks.

**Materials and methods.** The experimental part of the study was carried out at the Ledovo fundamental gravity station using a set of gravimeters of various types. Instrumental measurements of gravity variations were performed. The collected data were analyzed using spectral and statistical methods and Fourier transforms. Special attention was given to comparing readings recorded by different instruments. Additionally, an optimal linear smoothing procedure (OLSP) was applied to construct a generalized model of gravity field variations.

**Results.** The analysis revealed a high degree of consistency between measurements: the correlation coefficient between GNU-KV and CG-6 gravimeters exceeded 0.9, confirming the similarity of their spectral characteristics and the reliability of the recorded data. At the same time, the study showed that an unambiguous mathematical description of gravity variations is complicated by the influence of poorly understood geodynamic and random factors. The model based on OLSP enables the integration of elements from known theoretical models with consideration of “guest” processes, i.e., external and local factors of uncertain nature that affect the observed gravity variations.

**Conclusion.** The proposed model-free approach, along with the use of the optimal linear smoothing procedure, offers new possibilities for a more accurate and flexible description of temporal gravity field variations. The developed methodological approach may prove valuable in further geophysical research and in advancing methods for monitoring changes in the Earth's gravity field.

**Keywords:** temporal gravity fluctuations, gravity field variations, gravimeters, mathematical models, phenomenological modeling, model-free approach, spectral-statistical analysis, correlation

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosures:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Nigmatullin R.R., Belov A.P., Erokhin A.M. Mukhametzyanov A.R., Koneshov V.N., Drobyshev M.N. Construction and analysis of mathematical models describing temporal variations of earth's gravity field. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(2):76—94. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-76-94>  
EDN: [JSULTZ](https://www.edn.ru/10.32454/0016-7762-2025-67-2-76-94)

*Manuscript received 25 December 2024*

*Accepted 04 April 2025*

*Published 30 June 2025*

\* Corresponding author

## 1. Введение и постановка задачи

Колебания, постоянно регистрируемые на поверхности земной коры, являются результатом как природных, так и техногенных процессов. В последние годы наблюдается возросший интерес к изучению длинноволновых компонентов потенциальных полей, в частности к исследованию временных вариаций силы тяжести. Это связано с тем, что с изменением климата наблюдается не только увеличение уровня Мирового океана, но и локальные деформации на поверхности Земли, что приводит к изменению силы тяжести. Периодические изменения значений силы тяжести можно заранее вычислить путем использования различных способов [11, 13, 14]. Для изучения изменения силы тяжести из-за регионального поднятия в Фенноскандии [17] в течение более пяти лет применялся комплекс геофизических и геодезических методов. В него входили наряду со спутниковой информацией, непрерывной информацией GPS-наблюдений, данных приливных станций информация об абсолютных измерениях более чем в 30 пунктах Скандинавии. Были созданы соответствующие методики для сравнения результатов разных методов наблюдения. В результате была оценена точность работы каждого метода и доказано локальное поднятие земной поверхности этого региона. Оценка взаимосвязи гравиметрических измерений с геодезическими изменениями проводилась и в нашей стране [8]. Инструментальные измерения колебаний силы тяжести, полученные

относительными гравиметрами, также предоставляют ценные данные для решения ряда фундаментальных и прикладных задач в геофизике, включая мониторинг землетрясений, вулканической активности и изменения распределения масс внутри Земли [12].

Надежные гравиметрические, сейсмометрические, метеорологические и прочие сопутствующие измерения являются необходимой основой, способствующей разработке динамических моделей и улучшению прогностических методов [1, 2].

Целью данной работы является разработка и применение математических моделей для описания временных вариаций гравитационного поля Земли, а также оценка эффективности предложенного подхода на основе экспериментальных данных. Для достижения этой цели в работе решаются следующие задачи:

1. Проведение инструментальных измерений колебаний силы тяжести с использованием группы гравиметров различных типов.
2. Обработка и анализ полученных данных с применением спектрально-статистических методов и преобразования Фурье.
3. Оценка корреляции между измерениями различных гравиметров для подтверждения их идентичности и надежности.
4. Разработка общей модели вариаций гравитационного поля, основанного на инструментальных гравиметрических измерениях, учитывающей влияние случайных «гостевых» процессов.

Структура работы включает описание проведенного эксперимента и методов обработки данных [4], анализ полученных результатов, построение и оценку математических моделей, а также выводы и рекомендации для дальнейших исследований. Полученные результаты демонстрируют высокую корреляцию между гравиметрами ГНУ-КВ и CG-6, подтверждая идентичность их спектральных характеристик и надежность в регистрации вариаций гравитационного поля. Однако анализ также выявил сложности однозначного математического описания вариаций силы тяжести из-за влияния неучтенных случайных факторов, что подчеркивает необходимость дальнейших исследований и разработки более сложных комплексных моделей.

## 2. Описание экспериментов и обработка данных

### 2.1. Гравиметрический пункт

Исследования проводились параллельно с постоянно действующим комплексом геофизической аппаратуры, установленным Институтом физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН) на постаменте Фундаментального гравиметрического пункта «Ледово». Данный пункт находится в помещении гравиметрической лаборатории корпуса экспедиционной базы ИФЗ РАН, расположенном в 300 метрах от Щелковского шоссе. Постамент Фундаментального гравиметрического пункта «Ледово» представляет собой бетонный параллелепипед с размерами 7,3 м в длину, 1,1 м в ширину и около 4 м в глубину. Постамент не соприкасается с полом помещения, что минимизирует влияние вибраций и других механических помех на измерения.

### 2.2. Используемые приборы

В комплексе геофизической аппаратуры используются гравиметрические приборы различных типов, действующие на одних и тех же физических принципах и обладающие общим частотным диапазоном. Расположение всех гравиметров на одном геофизическом постаменте позволяет считать зарегистрированные инерционные помехи идентичными по происхождению [1, 2]. Несмотря на это, различные типы гравиметров отличаются конструктивными особенностями упругих систем, что влияет на их точностные характеристики [6]. Давление, температура, дрейф нуля при данных измерениях не оказывают значительного влияния на результаты измерений.

При проведении эксперимента использовались следующие гравиметры:

- CG-6 Autograv: автоматизированный относительный гравиметр последней серии компании Scintrex, отличающийся высокой точностью и надежностью;
- CG-5 Autograv (CG-350, CG-351): автоматизированные относительные гравиметры, зарекомендовавшие себя как исключительно надежные приборы за десятилетие эксплуатации;
- ГНУ-КВ: кварцевый гравиметр, широко используемый для гравиразведочных работ в Советском Союзе и по настоящее время.

Гравиметры нового поколения CG-5 и CG-6 оснащены чувствительными емкостными индикаторами малых перемещений, что позволило упростить кварцевую систему, уменьшить ее размеры, сделать неастигматизированной и значительно повысить точность измерений [5]. Кроме того, оснащение гравиметров блоками компьютерной обработки позволяет вводить вычисленные поправки в показания прибора в режиме реального времени, существенно снизив влияние помех и обеспечив точность измерений порядка 0,001 мГал. Автоматическое снятие показаний и непрерывная дискретизация данных минимизировали ошибки оператора

Гравиметр ГНУ-КВ был адаптирован для регистрации вариаций гравитационного поля с использованием видеокамеры в качестве ключевого элемента процесса цифровизации показаний. Это инновационное решение позволяет с высокой точностью фиксировать и детально анализировать вариации гравитационного поля, в том числе амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) [3, 9].

### 2.3. Процедура измерений

В рамках исследования был использован трехчасовой интервал наблюдения группой из четырех гравиметров: ГНУ-КВ, SCINTREX CG-5 (CG-350 и CG-351), и SCINTREX CG-6. Все временные ряды были приведены к единой системе отсчета с использованием единого масштабирования, обеспечив тем самым синхронизацию данных между различными гравиметрами  $X_{norm} = [X - \min(X)] / [\max(X) - \min(X)]$ .

### 2.4. Обработка данных

Традиционные методы математического моделирования временных вариаций гравитационного поля сталкиваются с рядом ограничений, связанных с высокой сложностью учета множества факторов, влияющих на колебания земной поверхности. В связи с этим в данной работе предлагается безмодельный подход, основанный на использовании

феноменологических моделей для подгонки экспериментальных данных. Такой подход позволяет эффективно описывать динамические свойства сложных систем даже при отсутствии точных аналитических выражений для всех влияющих процессов [7].

Для анализа вариаций гравитационного поля была применена комплексная методика, включающая спектрально-статистический анализ и преобразование Фурье. Известно, что дискретные значения случайной величины часто соответствуют процессам, близким к нормальному закону распределения [12].

Коэффициент корреляции Пирсона был использован для оценки степени линейной зависимости между временными рядами измерений различных гравиметров. Формула для расчета коэффициента корреляции представлена ниже:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

где  $r_{xy}$  — коэффициент корреляции (или, иными словами, коэффициент корреляции Пирсона) между переменными  $x$  и  $y$  измеряет степень линейной зависимости между ними (от -1 до 1),  $x$

и  $y$  — наблюдаемые значения переменных,  $\bar{x}$  и  $\bar{y}$  — средние значения переменных  $x$  и  $y$ .

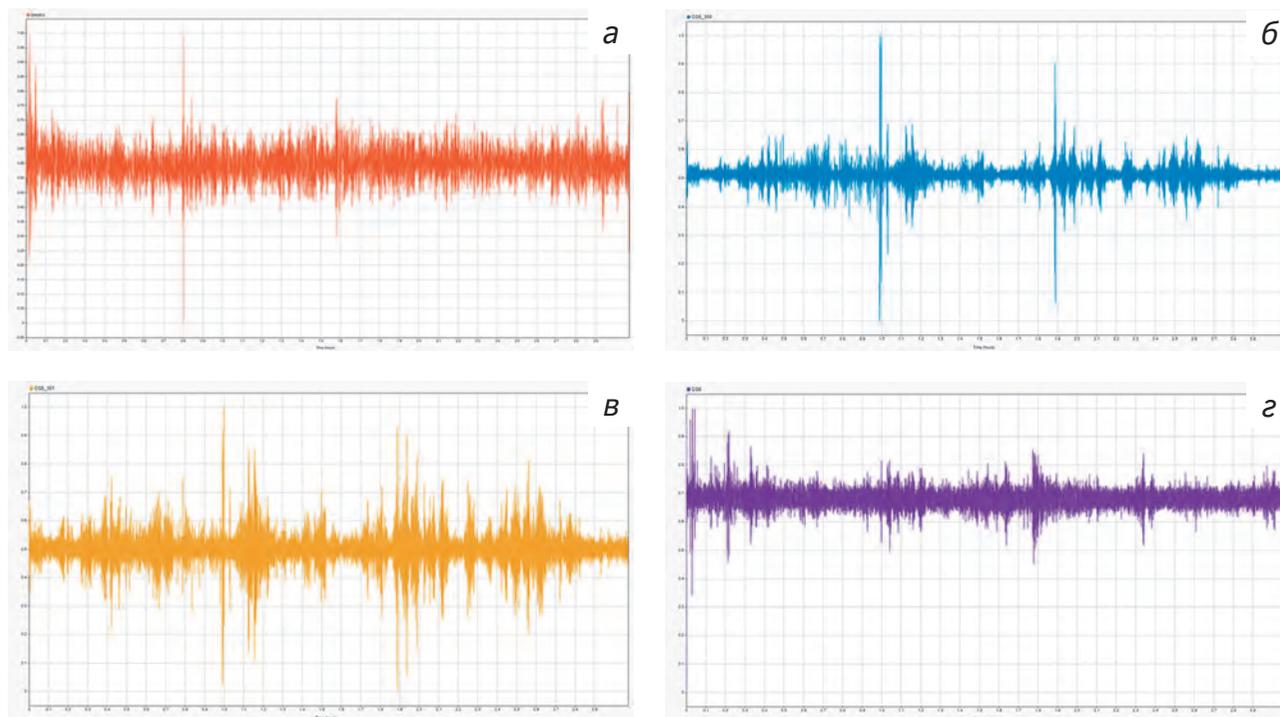
На рисунке 1 представлены результаты измерений (исходные кривые) вариаций гравитационного поля 4-х гравиметров. По оси ОХ — время, по оси ОУ отложены безразмерные и нормированные амплитуды.

Низкие значения коэффициентов корреляции указывают на слабую линейную зависимость между временными рядами, что может быть связано с различиями конструктивных схем и технологий компенсации сползания ноль-пункта.

Для преодоления ограничений временного анализа была выполнена обработка сигналов в частотной области с использованием амплитудно-частотных характеристик (АЧХ). Этот подход позволяет сравнивать спектральное содержание сигналов и выявлять скрытые закономерности и взаимосвязи в частотной области.

### 2.5. Спектральный анализ

Для всех временных рядов были вычислены Фурье-спектры (рис. 2), соответствующие каждому гравиметру в той же последовательности, что и на рисунке 1. На этих графиках представлены только модули амплитуд, а фазовые



**Рис. 1.** Результаты измерений (исходные кривые) вариаций гравитационного поля для всех 4-х гравиметров: а — GNU-KV; б — CG-5-350; в — CG-5-351; г — CG-6  
**Fig. 1.** Results of measurements (initial curves) of variations in the gravitational field for all 4 gravimeters: а — GNU-KV; б — CG-5-350; в — CG-5-351; г — CG-6

характеристики всех приборов и анализ их зависимости являются предметом будущего отдельного исследования.

CG-5 (CG-350 и CG-351) демонстрируют высокое совпадение АЧХ по амплитудным характеристикам, что объясняется их конструктивной идентичностью и одинаковыми заводскими механизмами регистрации (рис.26 и в).

В данной работе анализ АЧХ ограничивается только для пары приборов ГНУ-КВ и SCINTREX CG-6, так как SCINTREX CG-6 является базовым прибором при регистрации вариаций гравитационного поля на фундаментальном гравиметрическом пункте «Ледово». Из визуального анализа распределения АЧХ для пары приборов ГНУ-КВ и SCINTREX CG-6 наблюдается хорошее совпадение модулей амплитуд АЧХ по частотным характеристикам (рис. 36). На этих графиках представлены только модули амплитуд, а фазовые характеристики всех приборов и анализ их зависимости являются предметом будущего отдельного исследования.

При детальном рассмотрении распределения АЧХ (табл. 2) для пары ГНУ-КВ и SCINTREX CG-6 по отдельным участкам (дробная корреляция) выявлено хорошее совпадение как по амплитудным, так и по частотным характеристикам для отдельных интервалов частот.

**Таблица 1.** Коэффициенты корреляции Пирсона между временными рядами гравиметров

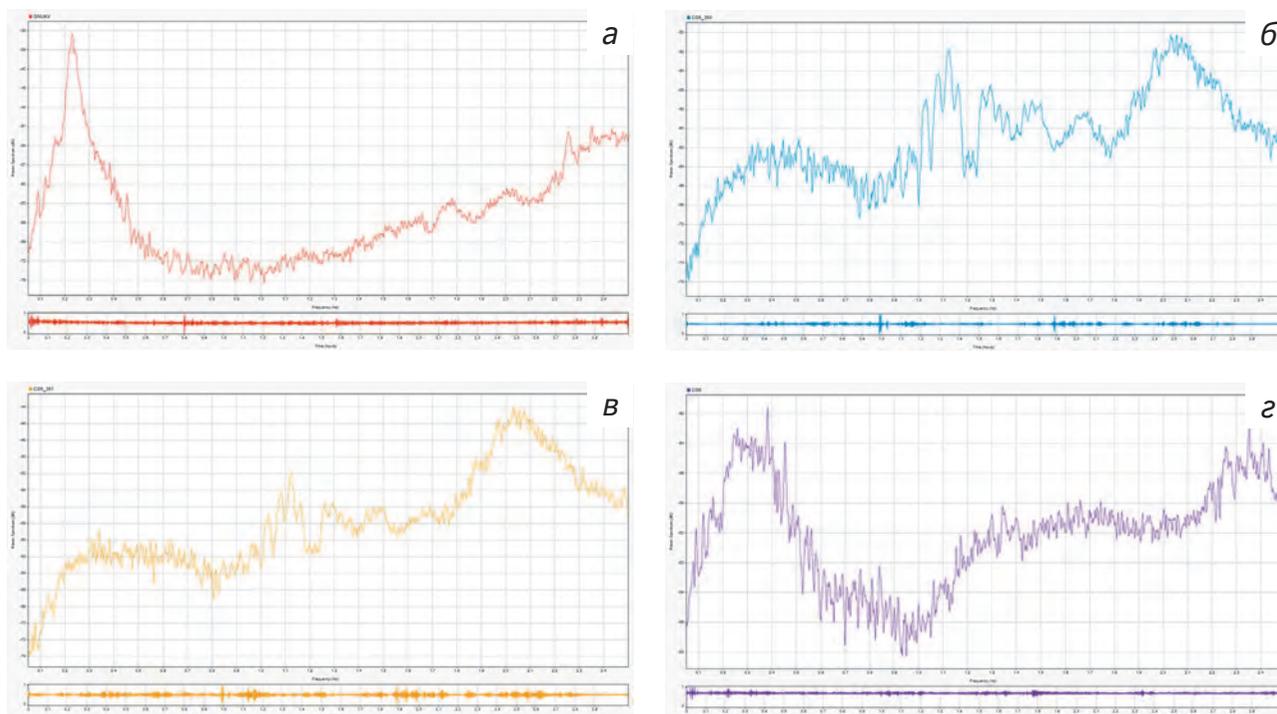
**Table 1.** Pearson correlation coefficients between gravimeter time series

Пары гравиметров	Коэффициент корреляции ( $r$ )
ГНУ-КВ и CG6	0,0285
ГНУ-КВ и CG5 350	0,0072
ГНУ-КВ и CG5 351	0,1010
CG5 350 и CG6	-0,0011
CG5 351 и CG6	0,0138

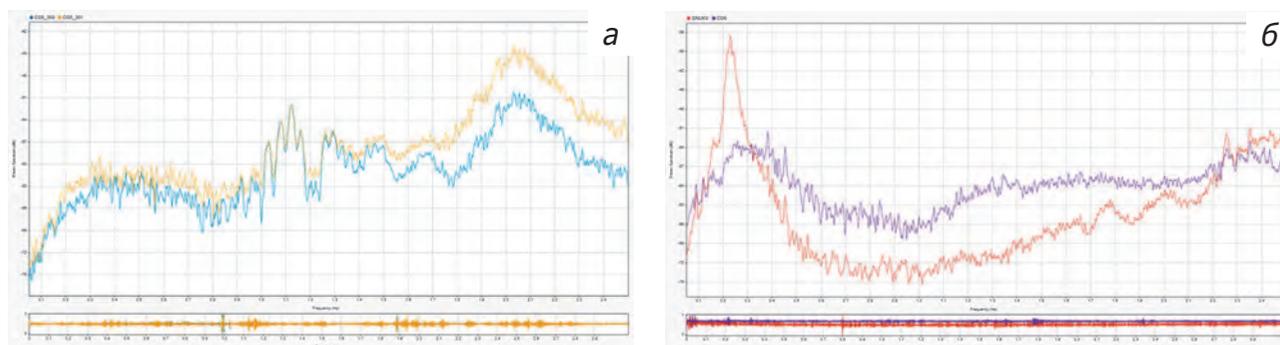
Анализ таблицы 2 показывает, что корреляции, выделенные черным цветом, отражают различную степень близости сравниваемых случайных последовательностей, вычисленную по формулам (4), приведенным ниже. Наиболее близкими между собой являются пары 6 и 10, выделенные синим цветом.

### 2.6. Обобщенные корреляционные методы

В данной работе использовались как традиционная формула Пирсона (1), так и обобщенные корреляционные методы, позволяющие учитывать сложные зависимости между временными рядами. Они рассмотрены в недавней монографии [7]. В частности, были введены понятия внешних



**Рис. 2.** Результаты анализа спектральных характеристик исходных данных  
**Fig. 2.** Results of the analysis of spectral characteristics of the original data



**Рис. 3.** Сравнение АЧХ гравиметров: а — сравнение SCINTREX CG-350 и CG-351; б — ГНУ-КВ и CG-5  
**Fig. 3.** Comparison of the frequency response of gravimeters: а — comparison of SCINTREX CG-350 and CG-351; б — GNU-KV and CG-5

и внутренних корреляций, описываемые формулами (2) и (3) соответственно.

Формула (2). Внешняя корреляция

$$Ext(y_1, y_2) = \frac{Rg(y_1) + Rg(y_2)}{\max(y_1, y_2) - \min(y_1, y_2)}, \quad (2)$$

$$Rg(f) = \max(f) - \min(f).$$

Формула (3). Внутренняя корреляция

$$GPCF_p = \frac{G_p(y_1, y_2)}{\sqrt{G_p(y_1, y_1) \cdot G_p(y_2, y_2)}},$$

$$G_p(g, f) = \left( \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (gn(j) \cdot fn(j))^{mom_p} \right)^{1/mom_p}, \quad (3)$$

**Таблица 2.** Корреляционные параметры для пары гравиметров ГНУ-КВ и SCINTREX CG-6  
**Table 2.** Correlation parameters for a pair of gravimeters GNU-KV and SCINTREX CG-6

№	Начало интервала, Гц	Окончание интервала, Гц	Внешняя корреляция	Корреляция Пирсона	Внутренняя корреляция P1	Внутренняя корреляция P2
1	0,05590	0,08258	0,33473	0,98049	<b>0,94881</b>	0,15364
2	0,08267	0,10935	0,32643	0,99127	0,85045	0,00000
3	0,10944	0,13612	0,38338	0,98470	0,93284	0,85085
4	0,13621	0,16290	0,58811	<b>0,99259</b>	0,93256	0,01125
5	0,16299	0,18967	0,37541	0,99579	0,68148	0,04431
6	0,18976	0,21644	<b>1,19763</b>	<b>0,98571</b>	<b>0,94924</b>	<b>0,94979</b>
7	0,21653	0,24321	<b>1,28613</b>	0,98712	0,76093	0,31125
8	0,24330	0,26998	<b>1,23011</b>	0,96287	0,17545	0,00674
9	0,27007	0,29676	0,44237	0,98776	0,78783	0,00000
10	0,29685	0,32353	0,27078	<b>0,99391</b>	<b>0,93034</b>	<b>0,93034</b>
11	0,32362	0,35030	0,22353	<b>0,99557</b>	0,36756	0,00000
12	0,35039	0,37707	0,16741	<b>0,99742</b>	0,91899	0,72916
13	0,37716	0,40385	0,24591	<b>0,99913</b>	0,90147	0,12485
14	0,40394	0,43062	0,29635	<b>0,99941</b>	<b>0,94617</b>	0,58750
15	0,43071	0,45739	0,37903	<b>0,99260</b>	0,91759	0,74302
16	0,45748	0,48416	0,45718	<b>0,99950</b>	<b>0,97730</b>	0,63309
17	0,48425	0,51094	0,25679	<b>0,99607</b>	0,82016	0,00000
18	0,51103	0,53771	0,41669	<b>0,99171</b>	0,80994	0,02425

$$\text{tom}_p = \exp\left(-r + 2\frac{P}{P}r\right),$$

$$e^{-r} \leq \text{tom}_p \leq e^r, \quad p = 0, 1, \dots, P.$$

В главе 9 монографии [7] объясняется, что корреляции в современной математической статистике являются *относительными*. Помимо традиционного коэффициента корреляции Пирсона (1), существуют два основных типа корреляций: внешние и внутренние.

Формула (2) используется для определения пересечения двух случайных кривых. Если эти кривые пересекаются, то значение внешней корреляции  $\text{Ext}(y_1, y_2)$  будет находиться в диапазоне от 1 до 2. Если пересечений нет, то  $\text{Ext}(y_1, y_2)$  будет в диапазоне от 0 до 1.

Внутренние корреляции, показанные в последних двух столбцах таблицы 2, рассчитываются по более общей формуле (3). В этой формуле  $gn(j)$  и  $fn(j)$  — это две нормированные функции в диапазоне от 0 до 1. Диапазон моментов охватывает широкий интервал ( $e^{-r}$ ,  $e^r$ ), и для их полного охвата достаточно выбрать  $r = 10$ .

Анализ обобщенной корреляционной функции дробных моментов (ОКФДМ) (3) показывает, что функция в диапазоне от 0 до 1 имеет две важные инвариантные точки (появляющиеся для всех сравниваемых функций): минимальную точку ( $M$ ) и точку выхода на плато справа ( $Lm$ ). Эти две точки позволяют определить значения корреляций на всей совокупности моментов в интервале ( $e^{-r}$ ,  $e^r$ ). Эти значения обозначены как  $P1$  и  $P2$  и приведены в таблице 2. Они рассчитываются по формуле (4):

$$P1 = M \cdot Lm, \quad M^2 \leq P1 \leq M,$$

$$P2 = M \cdot \frac{Lm - M}{1 - M}, \quad 0 \leq P2 \leq M. \quad (4)$$

Из таблицы 2 видно, что коэффициент корреляции Пирсона дает завышенные значения корреляции, а параметры  $P1$  и  $P2$  — заниженные. Настоящие корреляции достигаются, когда внешняя корреляция  $\text{Ext}(y_1, y_2)$  превышает единицу, а внутренние корреляции  $P1$  и  $P2$  близки к минимальному значению  $M$ . Полное совпадение двух кривых происходит, когда  $\text{Ext}(y_1, y_2) = 2$  и  $M = 1$ . Анализ этих параметров позволяет оценить степень корреляции сравниваемых кривых  $gn(j)$  и  $fn(j)$ . Из таблицы 2 видно, что только пары 6 и 10 соответствуют этим требованиям.

## 2.7. Модели аппроксимации

Для понимания механизма влияния внешних процессов на вариации гравитационного поля необходимо найти математическую функцию, значения которой максимально приближены к экспериментальным гравиметрическим данным. Это достигается с помощью аппроксимации данных эмпирическими функциями. Аппроксимация позволяет изучать числовые характеристики и свойства объекта, сводя задачу к анализу более простых математических моделей. Процесс аппроксимации заключается в построении функции, которая наилучшим образом соответствует исходным данным с минимальной погрешностью.

## 2.8. Критерии выбора модели аппроксимации

Выбор модели аппроксимации определяется минимизацией ошибки на всем диапазоне исходных данных и максимизацией коэффициента детерминации  $R^2$ . Коэффициент детерминации  $R^2$  измеряет, насколько хорошо модель объясняет вариации данных, и рассчитывается по следующей формуле:

$$R^2 = 1 - D[y] / D[y \uparrow x], \quad (5)$$

где  $D[y]$  — дисперсия зависимой переменной  $y$ ,  $D[y \uparrow x]$  — условная дисперсия  $y$  при заданных факторах  $x$  (дисперсия ошибки модели).

Таким образом, цель аппроксимации — построить математическую модель, максимально приближенную к «идеальной» модели, которая воспроизводит измеренные данные с минимальными ошибками и высокой достоверностью.

При выборе подходящей аппроксимирующей функции необходимо учитывать параметры, наиболее точно описывающие зависимость между изучаемыми величинами. Из нескольких подходящих вариантов выбирается та функция, которая обеспечивает максимальное значение  $R^2$  и минимальную погрешность на всем диапазоне данных. Оценка качества моделей проводится на основе баланса между точностью аппроксимации и простотой вычислительной конструкции модели.

## 2.9. Рассмотренные модели аппроксимации

Для дальнейшего анализа были рассмотрены следующие модели аппроксимации исходных данных:

1. Полиномиальные аппроксимации
2. Фурье-аппроксимации
3. Экспоненциальные аппроксимации

Представленные модели не охватывают все возможные варианты, но являются

наиболее распространенными и простыми для аппроксимации наборов исходных данных.

#### *Статистические показатели оценки моделей*

Для оценки эффективности моделей использовались следующие статистические показатели:

- коэффициент детерминации ( $R^2$ ): измеряет степень достоверности аппроксимации между моделью и исходными данными;
- среднеквадратичная ошибка (RMSE): среднее квадратичное отклонение модели от исходных данных;
- сумма квадратов ошибок (SSE): общая сумма квадратичных отклонений модели от исходных данных.

#### *Графическое представление результатов*

Для удобного визуального сравнения качества моделей использовался кросс-плоттинг (диаграмма рассеяния). Кросс-плоттинг позволяет наглядно сравнить несколько измерений данных, отображая их на двух осях и более относительно друг друга. Обычно оси диаграммы линейны, но могут быть представлены в логарифмических и других (экспоненциальных, квадратичных и др.) шкалах.

#### *Анализ кросс-плотов*

Кросс-плоты использовались для визуальной оценки соответствия модели экспериментальным данным. На них откладывались экспериментальные значения по одной оси и значения модели по другой. Идеальная модель соответствует расположению точек вдоль линии под углом 45 градусов.

#### **Анализ результатов:**

##### *Полиномиальная модель 2-й степени*

###### 1. Качество модели ( $R^2$ и RMSE):

- $R^2 = 0,8197$ . Это говорит о хорошем соответствии модели исходным данным.
- Значение RMSE (среднеквадратичная ошибка) равно 0,091497.
- Значение SSE (сумма квадратов ошибок) составляет 229,7.
- Параметры модели:  $f(x) = 0,1719 + 4,0450x - 3,6688x^2$ .

###### 2. Графическое отображение (рис. 4а):

- График демонстрирует, что полиномиальная модель 2-й степени неплохо подстроилась под данные, особенно на начальном и среднем участках.

- Однако на концах графика видно, что модель отклоняется от фактических значений. Это может быть связано с тем, что данные имеют более сложное поведение, чем может описать полиномом 2-й степени.

##### *Полиномиальная модель 3-й степени*

###### 1. Качество модели ( $R^2$ и RMSE):

- $R^2 = 0,9440$ , что значительно выше по сравнению с предыдущей моделью 2-й степени. Это говорит о том, что модель 3-й степени лучше объясняет вариации в данных.
- Значение RMSE (среднеквадратичная ошибка) уменьшилось до 0,051017, что указывает на более низкий уровень ошибки по сравнению с полиномом 2-й степени.

- Значение SSE (сумма квадратов ошибок) также снизилось до 71,412, что свидетельствует о повышении качества аппроксимации.

###### 2. Параметры модели:

- Модель имеет вид:  $f(x) = 0,1501 + 5,2306x - 10,6823x^2 + 6,2094x^3$ .

###### 3. Графическое отображение (рис. 4б):

- Модель 3-й степени лучше подстраивается под сложные нелинейные зависимости в данных и более точно повторяет тренды.

##### *Полиномиальная модель 4-й степени*

###### 1. Качество модели ( $R^2$ и RMSE):

- $R^2 = 0,8364$ , что ниже по сравнению с полиномиальной регрессией 3-й степени. Это говорит о том, что увеличение степени полинома привело к снижению качества модели.

- Значение RMSE (среднеквадратичная ошибка) равно 0,087156, что лучше по сравнению с полиномом 2-й степени, но хуже, чем у модели 3-й степени.

- Значение SSE (сумма квадратов ошибок) — 208,41, что указывает на некоторое улучшение в сравнении с моделью 2-й степени, но все еще хуже, чем у модели 3-й степени.

###### 2. Параметры модели:

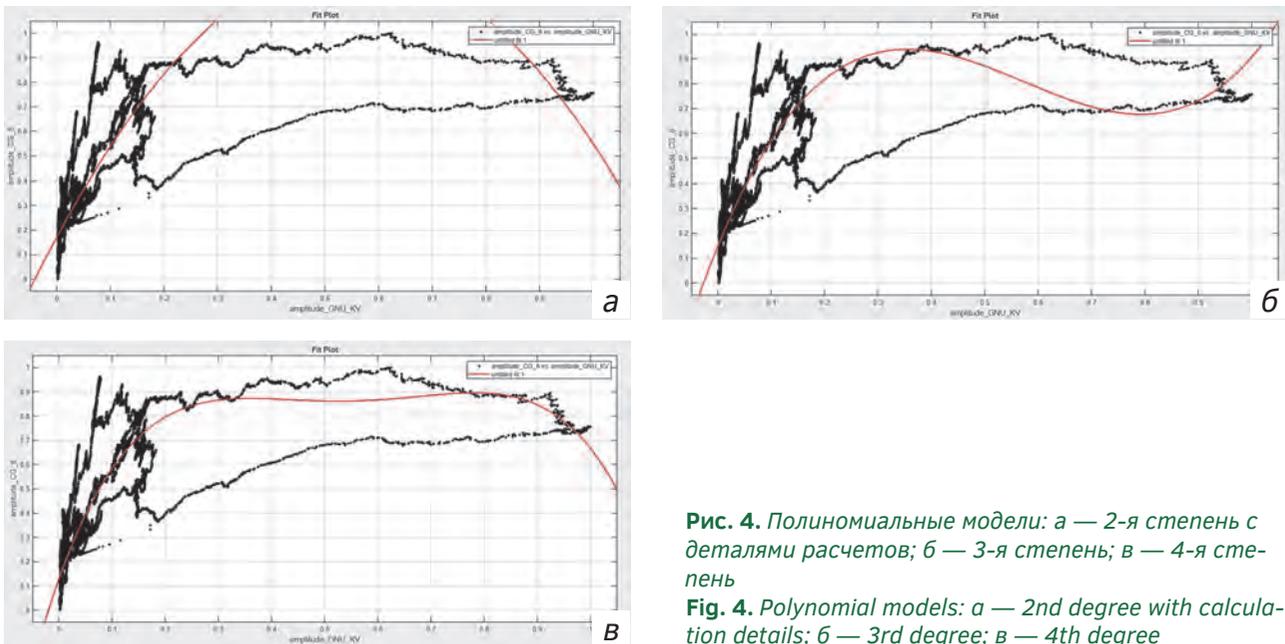
- Модель имеет вид:  $f(x) = 0,1299 + 6,1593x - 18,3722x^2 + 23,1825x^3 - 10,4337x^4$ .

###### 3. Графическое отображение (рис. 4в):

- Модель 4-й степени демонстрирует хорошие результаты на начальном участке и лучше подстраивается под нелинейные зависимости на средней части графика. Однако на концах диапазона данные начинают отклоняться от аппроксимирующей кривой.

#### *Анализ разных моделей Фурье*

$$f(x) = a_0 + a_1 \cdot \cos(x \cdot w) + b_1 \cdot \sin(x \cdot w).$$



**Рис. 4.** Полиномиальные модели: а — 2-я степень с деталями расчетов; б — 3-я степень; в — 4-я степень

**Fig. 4.** Polynomial models: а — 2nd degree with calculation details; б — 3rd degree; в — 4th degree

Частоты для моделей Фурье подбирались методом параметрической подгонки [10].

- Модель Фурье с 1 гармоникой:  $R^2 = 0,6086$ ,  $RMSE = 0,13482$ .

Низкий  $R^2$  и высокая ошибка указывают на то, что одной гармоникой недостаточно для описания зависимости.

- Модель Фурье с 2 гармониками:  $R^2 = 0,7612$ ,  $RMSE = 0,1053$ .

$$f(x) = a_0 + \sum_{i=1}^2 [a_i \cdot \cos(i \cdot x \cdot w) + b_i \cdot \sin(i \cdot x \cdot w)]$$

Увеличение числа гармоник улучшило качество модели.

- Модель Фурье с 3 гармониками:  $R^2 = 0,7721$ ,  $RMSE = 0,10289$

$$f(x) = a_0 + \sum_{i=1}^3 [a_i \cdot \cos(i \cdot x \cdot w) + b_i \cdot \sin(i \cdot x \cdot w)]$$

Дополнительная гармоника еще больше улучшила соответствие модели, снизив ошибку и увеличив  $R^2$ .

- Модель Фурье с 4 гармониками:  $R^2 = 0,7724$ ,  $RMSE = 0,10282$ .

$$f(x) = a_0 + \sum_{i=1}^4 [a_i \cdot \cos(i \cdot x \cdot w) + b_i \cdot \sin(i \cdot x \cdot w)]$$

Увеличение числа гармоник до 4 уже не дало значительного улучшения по сравнению с моделью с 3 гармониками.

Оптимальная модель Фурье:

Модель Фурье с тремя гармониками показывает наилучшие результаты с  $R^2 = 0,7721$  и относительно низким  $RMSE = 0,10289$ .

*Анализ экспоненциальных моделей*

1. Экспоненциальная модель с 1 членом:

- Уравнение:  $f(x) = a \cdot e^{(b \cdot x)}$

- $R^2 = 0,2405$ ,  $RMSE = 0,1878$

- Модель демонстрирует очень низкое значение коэффициента детерминации.

- Высокое значение ошибки ( $SSE = 967,75$ ) указывает на то, что данная модель не подходит для описания набора данных.

2. Экспоненциальная модель с 2 членами:

- Уравнение:  $f(x) = a \cdot e^{(b \cdot x)} + c \cdot e^{(d \cdot x)}$

- $R^2 = 0,7701$ ,  $RMSE = 0,10331$

- Модель значительно улучшает качество аппроксимации по сравнению с моделью с 1 членом.

- Значительно возросло значение  $R^2$ , что говорит о лучшем соответствии данных выбранной модели.

- Значение  $SSE$  снизилось до 292,84, что указывает на более точное описание данных.

- Увеличение в уравнении количества членов  $>2$  приводит к значительным усложнениям технического характера вычислительной конструкции.

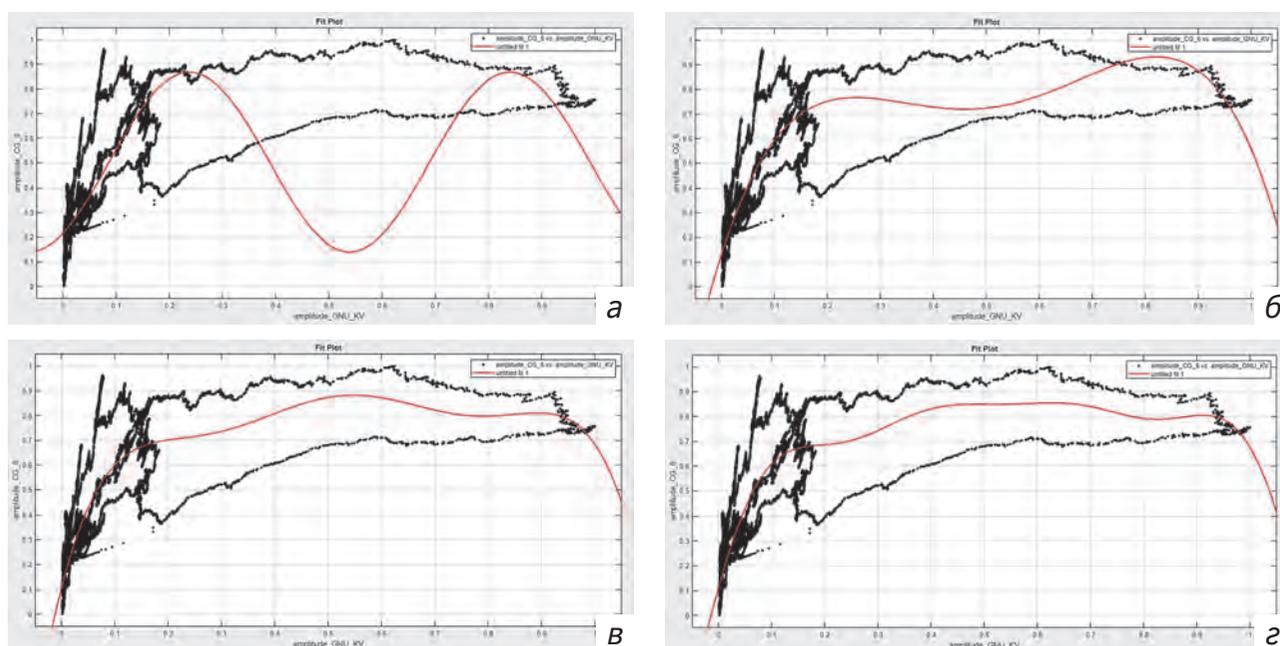


Рис. 5. Гармоники: а — 1; б — 2; в — 3; г — 4  
 Fig. 5. Harmonics: а — 1; б — 2; в — 3; г — 4

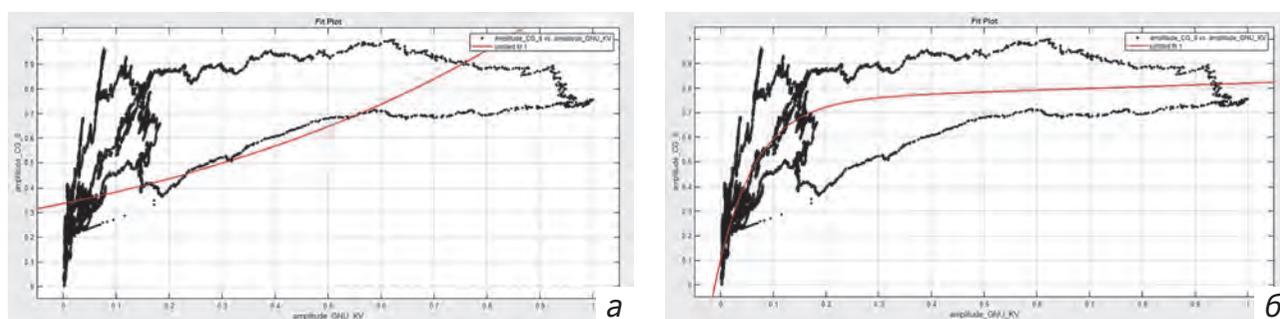


Рис. 6. Экспоненциальные модели. а — 1 член; б — 2 члена  
 Fig. 6. Exponential models. а — 1 part; б — 2 parts

Экспоненциальная модель с 2 членами является более оптимальной, показывает гораздо лучшее соответствие данным ( $R^2 = 0,7701$ ) и более низкую ошибку ( $RMSE = 0,10331$ ). Модель с 1 членом слишком проста и не захватывает сложные зависимости в данных на данном интервале исследования.

На основании анализа всех моделей и различных типов аппроксимации можно сделать следующие выводы и рекомендации для нашего набора данных, где

- X — это спектр ГНУ-КВ,
- Y — это спектр СГ-6.

#### Характеристики данных

• Данные имеют сложные и нелинейные зависимости, и на это указывает поведение кривых на рисунках 4—6.

• Спектры ГНУ-КВ и СГ-6, судя по графикам, не имеют простой линейной или экспоненциальной зависимости. Сложные колебания и изменения трендов указывают на наличие как периодических, так и нелинейных компонентов, а также имеет место дробная корреляция. Также невозможно учесть все реальные геологические процессы.

#### Полиномиальные аппроксимации

- Полиномы 2-й и 3-й степени показали хорошее соответствие данным принятой модели.
- Полином 3-й степени продемонстрировал наилучшие результаты с  $R^2 \approx 0,9440$  и низким значением  $RMSE = 0,0510$ , что свидетельствует о хорошей подстройке к данным при умеренной сложности модели.

Таблица 3. Результаты анализа всех моделей  
 Table 3. Results of analysis of all models

Тип модели	Уравнение	$R^2$	RMSE	SSE	Вывод
Полиномиальная (2-я степень)	$f(x) = p1 \cdot x^2 + p2 \cdot x + p3$	0,8197	0,0915	229,7	Хорошее соответствие, но не захватывает сложные колебания данных
Полиномиальная (3-я степень)	$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$	0,9440	0,0510	71,4	Лучшая аппроксимация среди полиномов. Оптимальная модель для наших данных
Полиномиальная (4-я степень)	$f(x) = p1 \cdot x^4 + p2 \cdot x^3 + p3 \cdot x^2 + p4 \cdot x + p5$	0,8364	0,0872	208,4	Усложнение модели привело к ухудшению точности по сравнению с моделью 3-й степени
Фурье (1 гармоника)	$f(x) = a0 + a1 \cdot \cos(x \cdot w) + bi \cdot \sin(x \cdot w)$	0,6086	0,1348	498,7	Недостаточно для описания данных с периодическими компонентами
Фурье (2 гармоники)	$f(x) = a0 + \sum_{i=1}^2 [ai \cdot \cos(i \cdot x \cdot w) + bi \cdot \sin(i \cdot x \cdot w)]$	0,7612	0,1053	304,2	Подходит для периодических данных, но точность ниже, чем у полинома 3-й степени
Фурье (3 гармоники)	$f(x) = a0 + \sum_{i=1}^3 [ai \cdot \cos(i \cdot x \cdot w) + bi \cdot \sin(i \cdot x \cdot w)]$	0,7721	0,1029	290,4	Лучшая Фурье-модель, но все еще уступает полиному 3-й степени
Фурье (4 гармоники)	$f(x) = a0 + \sum_{i=1}^4 [ai \cdot \cos(i \cdot x \cdot w) + bi \cdot \sin(i \cdot x \cdot w)]$	0,7724	0,10282	290,01	Увеличение числа гармоник не привело к значимому улучшению модели
Экспоненциальная (1 член)	$f(x) = a \cdot e^{(b \cdot x)}$	0,2405	0,1878	967,8	Очень низкое соответствие. Не подходит для наших данных
Экспоненциальная (2 члена)	$f(x) = a \cdot e^{(b \cdot x)} + c \cdot e^{(d \cdot x)}$	0,7701	0,1033	292,8	Хорошая аппроксимация для данных с экспоненциальными трендами

- Полином 4-й степени привел к ухудшению качества и возможному усложнению модели.
- Полином 3-й степени является оптимальным выбором среди полиномиальных моделей для наших данных.

#### Фурье-аппроксимации

- Модели Фурье использовались исходя из предположения о наличии периодической составляющей в регистрируемых данных:
  - Фурье-модель с 3 гармониками показала наилучшие результаты ( $R^2 \approx 0,7721$ ), что указывает на наличие периодических компонентов в данных.
  - Увеличение числа гармоник до 4 дало лишь минимальное улучшение и приводит только к усложнению модели.

- Фурье-модель с 3 гармониками достаточно хорошо описывает данные, учитывая их периодическую составляющую.

#### Экспоненциальные аппроксимации

- Экспоненциальные модели использовались для анализа экспоненциального роста или затухания:
  - Модель с 1 членом имела низкий коэффициент корреляции и высокую ошибку.
  - Экспоненциальная модель с 2 членами показала значительное улучшение ( $R^2 \approx 0,7701$ ) и снижение RMSE, что указывает на наличие экспоненциальных зависимостей в исследуемых данных.
  - Экспоненциальная модель с увеличением количества членов  $> 2$  уравнения приводит

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

к значительным усложнениям технического характера вычислительной конструкции.

- Экспоненциальная модель с 2 членами является лучшим выбором для захвата экспоненциальных трендов, если они присутствуют в данных.

Полученные измерения ГНУ-КВ имеют достаточно высокую корреляцию с измерениями СГ-6. Выявлена идентичность спектральных характеристик ГНУ-КВ и СГ-6.

Если полином третьей степени достаточно хорошо описывает функцию на заданном интервале по критерию  $R^2$ , то использование четырех гармоник Фурье становится избыточным. Полином третьей степени способен описать функции с максимум двумя перегибами, что соответствует его аналитической структуре. С другой стороны, три гармоники Фурье могут создавать до шести перегибов, что излишне для описания функций, которые уже достаточно точно аппроксимируются этим полиномом. При этом полином третьей степени требует меньше параметров (четыре коэффициента) по сравнению с тремя гармониками Фурье (шесть параметров: три амплитуды и три фазы). Это упрощает интерпретацию модели и значительно снижает вычислительную

нагрузку. Таким образом, если полином обеспечивает достаточно высокое качество аппроксимации ( $R^2 \approx 1$ ), то увеличение гармоник Фурье не добавляет значимой точности, а лишь усложняет модель.

Наилучшие результаты для данного интервала исследования показали полиномиальные модели 3-й степени. Фурье-модели также оказались полезны, особенно для учета периодических колебаний, однако полиномиальная модель 3-й степени обеспечивает несколько лучшее соотношение между точностью и простотой модели.

### 2.10. Метод ПОЛС

Помимо традиционных аппроксимаций, описанных выше, можно применить метод ПОЛС (процедура оптимального линейного сглаживания) [16].

Эта процедура весьма гибкая. Формула ПОЛС имеет вид:

$$Y_{sm_j} = \frac{\sum_{i=1}^N K\left(\frac{(x_i - x_j)}{w}\right) y_i}{\sum_{i=1}^N K\left(\frac{(x_i - x_j)}{w}\right)}, \quad K(t) = \exp(-t^2). \quad (6)$$

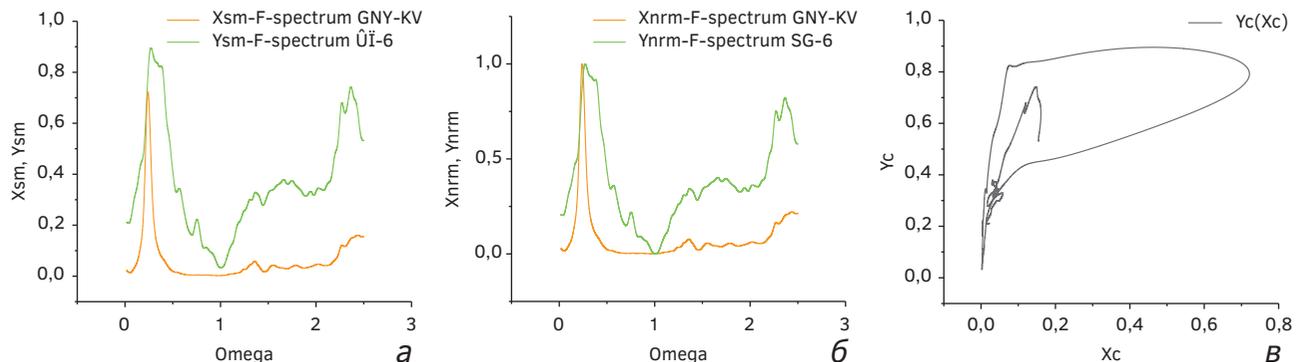


Рис. 7. Результаты применения ПОЛС к исходным данным

Fig. 7. Results of applying the POL to the initial data

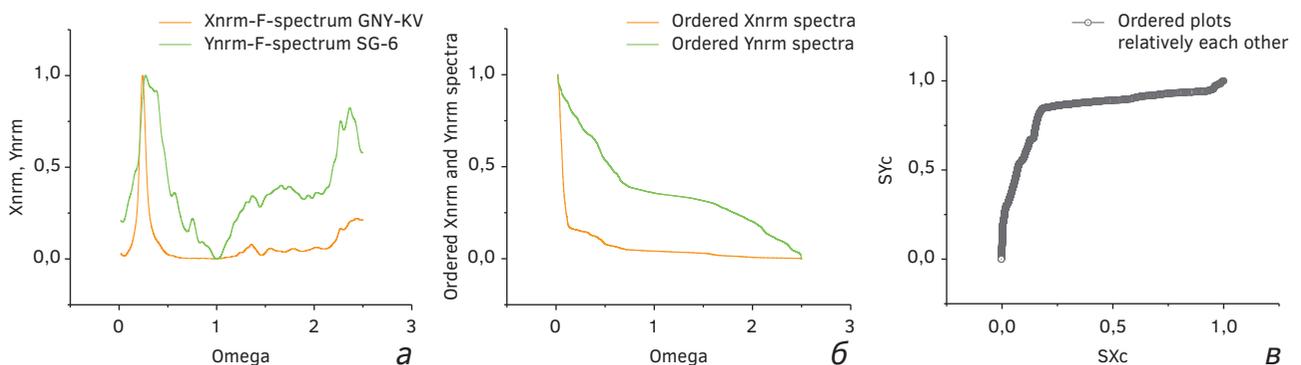


Рис. 8. Упорядоченные амплитуды сглаженных Ф-спектров

Fig. 8. Ordered amplitudes of smoothed F-spectra

Здесь  $y_j$ ,  $Ysm_j$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ) — соответственно, исходная и сглаженная функции,  $K(i, j)$  ядро сглаживания, выраженное через функцию Гаусса, а параметр  $w$  определяет окно сглаживания. Варьируя параметр  $w$ , мы можем получить различную степень сглаживания исходной функции  $y_j$ , задавая коэффициент корреляции Пирсона (1) в интервале (0,95—0,99). Заметим, что в предельных случаях формула (5) приводит, соответственно, к среднему арифметическому ( $w \gg 1$ ) и когда ( $w \rightarrow 0$ )  $Ysm_j \approx y_j$ , отсутствию усреднения. Еще один существенный момент применения формулы (6) связан с тем фактом, что расчеты по ней линейны относительно сглаживаемой функции  $y_j$ , что не приводит к дополнительным ошибкам обработки данных. Поэтому применение ПОЛС значительно приближает нас к построению модели, наиболее близкой к «идеальной» модели по минимуму относительной ошибки и максимальному значению величины коэффициента корреляции.

На рисунке 7 графики показывают результат применения ПОЛС к исходным данным, показанным ранее на рисунках 2 (слева и по центру) и 4. Отличие центрального рисунка (б) от рисунка слева (а) состоит в том, что на центральном рисунке оба спектра от гравиметров X (ГНУ-КВ) и Y (CG-6) приведены к единому масштабу. Величина окна сглаживания  $w = 0,05$ . Величина корреляции Пирсона между исходными данными и сглаженными спектрами лежит в интервале (0,98, 0,99). Наиболее интересен рисунок кросс-плоттинга, показанный справа (рис. 7). Этот рисунок ясно показывает, что на самом деле эта кривая *многозначна* и состоит из трех ветвей. Именно этим фактом объясняются не совсем удачные попытки аппроксимации традиционными функциями как полиномами, гармониками Фурье и экспонентами.

Чтобы преодолеть этот существенный недостаток, можно упорядочить амплитуды (в порядке возрастания слева направо) исходных Фурье спектров и рассмотреть их упорядоченные структуры.

Если упорядочить амплитуды сглаженных Ф-спектров (рис. 8), то из рисунка (а), изображенного слева, получатся две упорядоченные кривые, изображенные на центральном рисунке. Кросс-плот этих кривых изображен на крайнем правом рисунке (в).

Если сравнить рисунки (в), изображенные на рисунках 7 и 8, то можно заметить, что многозначность исчезает и остается крайняя верхняя ветвь, поддающаяся точному подгону. Подгон этой ветви осуществляется 2-экспоненциальной функцией вида:

$$Ysm = A_0 + A_1 \exp(\lambda_1 SXc) + A_2 \exp(\lambda_2 SXc). \quad (7)$$

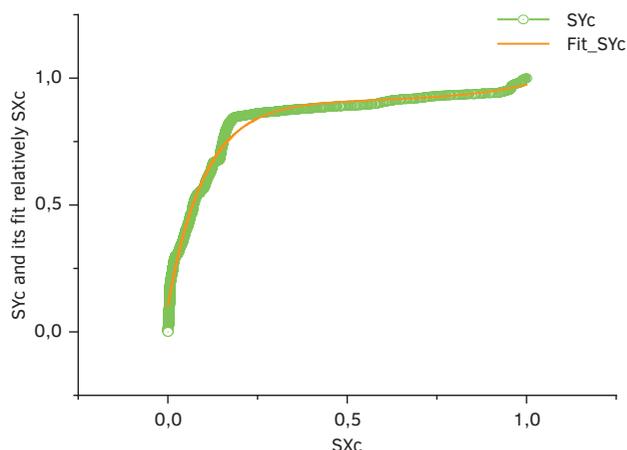
Эта экспоненциальная функция содержит 5 подгоночных параметров ( $A_{0,1,2}, \lambda_{1,2}$ ). Их значения таковы:  $A_0 = 0,911$ ,  $A_1 = -0,807$ ,  $A_2 = 0,375 \cdot 10^{-3}$ ;  $\lambda_1 = -9,810$ ,  $\lambda_2 = 5,179$ .

График подгона этой функцией представлен на рисунке 9.

Подгоночная кривая, показанная оранжевой сплошной линией, подгоняет значительное число измеренных красных точек ( $N = 27\,440$ ) с относительной ошибкой меньше 1% (рис. 9). Именно эту подгоночную функцию можно будет использовать в качестве феноменологической модели для описания нестационарных вариаций гравитационного поля.

Общий вывод из анализа ряда математических моделей, рассмотренных выше по аппроксимации вариаций гравитационного поля, сводится к тому, что эта задача является достаточно сложной. Возможно, выбор модели должен учитывать, что конечный процесс, определяющий вариации гравитационного поля, состоит из смеси стационарных периодических процессов и случайных процессов неизвестной и неизученной природы.

Поэтому вариации гравитационного поля невозможно описать математически однозначно и аппроксимировать моделью только одного процесса. Имеет место сильное влияние недоучтенных и неизвестных случайных факторов процессов. Измерения, определяющие вариации гравитационного поля, являются, скорее всего, квазипериодическими. Но такая достаточно строго обоснованная с разных сторон математическая модель



**Рис. 9.** Подгоночная кривая феноменологической модели

**Fig. 9.** Fitting curve of the phenomenological model

процесса, описывающая вариации гравитационного поля, в настоящее время отсутствует.

В работе [15] был предложен теоретический подход (подкрепленный также экспериментальными данными) для описания сложных моделей, связанных с квазипериодическими измерениями. Из этой теории следует важный вывод, связанный с тем, что каждый набор квазипериодических измерений может иметь две подгоночные функции: (а) связанную с предлагаемой моделью и (б) связанную с учетом влияния неконтролируемых факторов.

Общая модель таких квазипериодических измерений является случайной смесью известной предполагаемой модели и модели, учитывающей влияние случайных «гостевых» процессов (порожденных внешними случайными факторами). Такую ситуацию можно определить как проверяемый принцип частичной корреляции (ППЧК) [15]. Таким образом, на основе этого принципа можно будет получить общую математическую модель (определяемую как промежуточная модель — ПМ). Поскольку эксперимент, проводимый с этим набором переменных, является однофакторным, предполагается, что другие контролируемые переменные, влияющие на функцию отклика, не изменяются (или их влияние является малым) в некотором диапазоне их значений во время однофакторного эксперимента. В результате можно получить общую подгоночную функцию, представленную в упрощенной форме в виде отрезка ряда Прони [16] — которая содержит достаточно малое число подгоночных параметров.

Только увеличение числа повторных измерений позволит уменьшить влияние случайных ошибок и неконтролируемых факторов, приближая потенциального исследователя к правильному пониманию построения модели реального процесса. Именно в рамках такой модели, основанной на ППЧК, можно будет найти приемлемую для практических нужд модель, описывающую временные вариации гравитационного поля. Другими словами, чтобы повысить достоверность данных, нам потребуется работать с еще большим количеством экспериментов, которые должны быть, по крайней мере, квазивоспроизводимыми

для выбранного промежутка времени их изменений. Разумеется, такое исследование выходит за рамки этой работы (лишь указывающей на невозможность описания вариаций гравитационного поля в рамках общепринятых подходов) и будет являться уже предметом дальнейшего исследования.

#### Выводы

1. Высокая корреляция между гравиметрами ГНУ-КВ и СГ-6: анализ измерений показал высокую степень корреляции между данными гравиметров ГНУ-КВ и СГ-6, а также выявлены идентичные спектральные характеристики этих приборов. Это подтверждает надежность приборов и точность регистрации временных вариаций гравитационного поля.

2. Сложность математического описания вариаций гравитационного поля: однозначное математическое моделирование вариаций гравитационного поля в рамках одной модели невозможно из-за значительного влияния недоучтенных геодинамических процессов и других случайных факторов.

3. Предложен новый подход к моделированию вариаций гравитационного поля: вариации гравитационного поля рассматриваются как случайная смесь известной базовой модели и модели, учитывающей влияние случайных «гостевых» процессов, вызванных внешними случайными факторами.

4. Эффективность применения процедуры оптимального линейного сглаживания (ПОЛС): использование ПОЛС позволяет создать модель, близкую к «идеальной», минимизируя относительную ошибку аппроксимации и максимизируя коэффициент корреляции Пирсона.

5. Необходимость увеличения числа измерений: для более точного построения модели реального процесса и снижения влияния случайных ошибок и неконтролируемых факторов требуется увеличить количество повторных измерений и расширить интервал наблюдений. Это позволит получить более достоверные данные и повысить качество интерпретаций, приближая модель к комплексному описанию временных вариаций гравитационного поля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамов Д.В., Дорожков В.В., Конешов В.Н.* Особенности построения и использования наземного сейсмогравиметрического комплекса. Сейсмические приборы. 2010. Т. 46, № 4. С. 5—13.
2. *Абрамов Д.В., Дробышев М.Н., Конешов В.Н.* Оценка влияния сейсмических и метеорологических факторов на точность измерений относительным гравиметром. Физика Земли. 2013. № 4. С. 105—110.

3. Белов А.П., Лобанов А.М., Ерохин А.М. Опыт амплитудно-частотной оценки колебания грунтов в диапазоне 0,05—0,5 Гц с использованием чувствительного элемента гравиметра ГНУ-КВ. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2023. № 65(2). С. 67—73. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-67-73>
4. Белов А.П., Лобанов А.М., Утесинов В.Н., Ерохин А.М., Венидиктов К.В. Статистический анализ функции распределения колебаний индикатора кварцевого гравиметра. Материалы 50-й юбилейной сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского — В.Н. Страхова «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». 2024. С. 38—41.
5. Гравиметры относительные CG-6 Autograv. All-Pribors.ru [Измерительное оборудование]. URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/77100-19-sg-6-autograv#c3-texniceskie-xarakteristiki> (дата обращения: 20.12.2024).
6. Дробышев М.Н., Конешов В.Н. Оценка предельной точности гравиметра CG-5 Autograv. Сейсмические приборы. 2013. Т. 49. № 2. С. 39—43.
7. Евдокимов Ю.К., Нигматуллин Р.Р., Денисов Е.С. Распределенные измерительные среды и системы. Фрактальная обработка сигналов. Фрактальная радиоэлектроника: в 2 т. М.: Физматлит, 2024. 447 с.
8. Конешов В.Н., Дробышев Н.В., Сермягин Р.А., Разинькова Е.П. Результаты оценки абсолютных гравиметрических измерений на фундаментальном гравиметрическом пункте «Ледово» и гравиметрической сети России первого класса. Физика Земли. 2023. № 6. С. 199—206. <https://doi.org/10.31857/S0002333723060091>
9. Лобанов А.М., Белов А.П., Ерохин А.М., Венидиктов К.В. Алгоритм распознавания видео-файла для оцифровки колебаний аналогового индикатора на примере кварцевого гравиметра ГНУ-КВ. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2024. № 66(1). С. 128—134. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-128-134>
10. Метод параметрической подгонки (MATLAB). MathWorks. URL: <https://www.mathworks.com/help/curvefit/fit.html> (дата обращения: 20.12.2024).
11. Риктакте Т. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1979. 388 с.
12. Торге В. Гравиметрия. М.: Мир, 1999. 428 с.
13. Чечкин С.А. Основы геофизики. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. ISBN: 5-286-00436-9.
14. Юзефович А.П., Огородова Л.В. Гравиметрия. М.: Недра, 1980.
15. Nigmatullin R.R., Osokin S.I., Baleanu D., Al-Amri S., Azam A., Memic A. The first observation of memory effects in the infrared (FT-IR) measurements: do successive measurements remember each other? PLoS ONE. Open Access journal. 2014. April 9. No. 4. e94305.
16. Nigmatullin R.R., Litvinov A.A., Osokin S.I. Quasi-Reproducible Experiments: Universal Fitting Function for quantitative Description of Complex Systems Data. Lobachevskii Journal of Mathematics. 2024. Vol. 45. No. 8. P. 3956—3971.
17. Müller J., et al. A land uplift model in Fennoscandia combining GRACE and absolute gravimetry data. Physics and Chemistry of the Earth. 2012. Vol. 53. P. 54—60.

## REFERENCES

1. Abramov D.V., Dorozhkov V.V., Koneshov V.N. Features of the Construction and Use of a Ground-Based Seismo-Gravimetric Complex. Seismic Instruments. 2010. Vol. 46, No. 4. P. 5—13 (In Russ.).
2. Abramov D.V., Drobyshev M.N., Koneshov V.N. Assessment of the Influence of Seismic and Meteorological Factors on the Accuracy of Measurements by a Relative Gravimeter. Physics of the Earth. 2013. No. 4. P. 105—110 (In Russ.).
3. Belov A.P., Lobanov A.M., Erokhin A.M. Experience in Amplitude-Frequency Evaluation of Ground Vibrations in the Range of 0.05—0.5 Hz Using the Sensing Element of the GNU-KV Gravimeter. Proceedings of Higher Educational Institutions. Geology and Prospecting. 2023. No. 65(2). P. 67—73 (In Russ.). <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-67-73>
4. Belov A.P., Lobanov A.M., Utesinov V.N., Erokhin A.M., Venediktov K.V. Statistical Analysis of the Distribution Function of Oscillations of the Quartz Gravimeter Indicator. Proceedings of the 50th Anniversary Session of the International D.G. Uspensky — V.N. Strakhov Seminar “Issues of the Theory and Practice of Geological Interpretation of Gravitational, Magnetic and Electric Fields”. 2024. P. 38—41 (In Russ.).
5. Relative Gravimeters CG-6 Autograv. All-Pribors.ru — Measuring Equipment. URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/77100-19-sg-6-autograv#c3-texniceskie-xarakteristiki> (accessed: 20.12.2024) (In Russ.)
6. Drobyshev M.N., Koneshov V.N. Evaluation of the Limit Accuracy of the CG-5 Autograv Gravimeter. Seismic Instruments. 2013. Vol. 49. No. 2. P. 39—43 (In Russ.).
7. Evdokimov Yu.K., Nigmatullin R.R., Denisov E.S. Distributed Measurement Media and Systems. Fractal Signal Processing. In: Fractal Radio Electronics (in 2 vol.) Moscow: FIZMATLIT, 2024. 447 p.
8. Koneshov V.N., Drobyshev N.V., Semyagin R.A., Razinkova E.P. Results of the Assessment of Absolute Gravimetric Measurements at the Fundamental Gravimetric Station “Ledovo” and the First-Class Gravimetric Network of Russia. Physics of the Earth. 2023. No. 6. P. 199—206. <https://doi.org/10.31857/S0002333723060091>
9. Lobanov A.M., Belov A.P., Erokhin A.M., Venediktov K.V. A Video Recognition Algorithm for Digitizing Analog

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

- Indicator Oscillations Using the GNU-KV Quartz Gravimeter as an Example. Proceedings of Higher Educational Institutions. Geology and Prospecting. 2024. No. 66(1). P. 128—134 (In Russ.). <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-128-134>
10. Curve Fitting Method (MATLAB). MathWorks. URL: <https://www.mathworks.com/help/curvefit/fit.html> (accessed: 20.12.2024) (In Russ.).
  11. Rikitake T. Earthquake Prediction. Moscow: Mir, 1979. 388 p. (In Russ.).
  12. Torge W. Gravimetry. Moscow: Mir, 1999. 428 p. (In Russ.).
  13. Chechkin S.A. Fundamentals of Geophysics. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990 (In Russ.). ISBN: 5-286-00436-9.
  14. Yuzevich A.P., Ogorodova L.V. Gravimetry. Moscow: Nedra, 1980 (In Russ.).
  15. Nigmatullin R.R., Osokin S.I., Baleanu D., Al-Amri S., Azam A., Memic A. The First Observation of Memory Effects in the Infrared (FT-IR) Measurements: Do Successive Measurements Remember Each Other? PLoS ONE, Open Access Journal. 2014. April. Vol. 9(4). e94305.
  16. Nigmatullin R.R., Litvinov A.A. Osokin S.I., Quasi-Reproducible Experiments: Universal Fitting Function for quantitative Description of Complex Systems Data. Lobachevskii Journal of Mathematics, 2024, Vol. 45. No. 8. P. 3956—3971.
  17. Müller J., et al. A land uplift model in Fennoscandia combining GRACE and absolute gravimetry data. Physics and Chemistry of the Earth. 2012. V. 53. P. 54—60.

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Нигматуллин Р.Р. — разработал математический аппарат, внес вклад в идею и концепцию статьи, присоединился к подготовке текста статьи, окончательно утвердил публикуемую версию и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Белов А.П. — внес вклад в разработку постановку задач, принял участие в постановке задач, формулировании идей. Принял участие в разработке концепции проведения эксперимента. Присоединился к подготовке текста статьи, окончательно утвердил публикуемую версию и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы. Оказал помощь в формировании выводов.

Ерохин А.М. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, сформулировал идеи и постановку задач, предложил способ решения поставленных задач, раскрыл причинно-следственные связи. Провел сбор, обработку и анализ исходных данных. Провел математические вычисления и разработал программный код для их проведения, провел моделирование, подготовил иллюстрации. Описал и сформулировал выводы. Присоединился к подготовке текста статьи и окончательно утвердил публикуемую версию и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Мухаметзянов А.Р. — провел оформление статьи, оказал помощь в сборе первичных материалов, помог организовать и провести эксперимент с технической стороны, участвовал в статистической обработке данных. Окончательно утвердил публикуемую версию и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Raoul R. Nigmatullin — Developed the mathematical framework, contributed to the idea and concept of the article, participated in preparing the manuscript, approved the final version to be published, and agrees to be accountable for all aspects of the work.

Alexey P. Belov — Contributed to the development and formulation of the research tasks and ideas, participated in designing the experiment, joined the preparation of the manuscript, approved the final version to be published, agrees to be accountable for all aspects of the work, and assisted in formulating the conclusions.

Alexandr M. Erokhin — made the primary contribution to developing the article's concept, formulated the ideas and research tasks, proposed solutions and elucidated causal relationships; collected, processed and analysed the initial data; performed the mathematical calculations and wrote the corresponding software code; carried out the simulations and prepared the illustrations; drafted and formulated the conclusions; participated in preparing the manuscript, approved the final version to be published, and agrees to be accountable for all aspects of the work.

Amir R. Mukhametzyanov — handled the formatting of the article, assisted in collecting the initial materials, helped organise and conduct the experiment from the technical side, participated in the statistical processing of the data, approved the final version to be published, and agrees to be accountable for all aspects of the work.

Конешов В.Н. — внес большой вклад в разработку концепции статьи, принял участие в постановке задач, формулировании идей. Оказал методологическую помощь в проведении сбора, обработки и анализа исходных данных. Принял участие в обсуждении результатов, оказал помощь в интерпретации полученных расчетов. Оказал руководящую и методологическую помощь в организации и проведении эксперимента, обеспечил лабораторию для проведения исследования. Присоединился к подготовке текста статьи, окончательно утвердил публикуемую версию и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Дробышев М.Н. — принял участие в обсуждении задач, идей и концепции статьи. Оказал методическую помощь для сбора первичных данных, оказал техническую помощь в проведении эксперимента. Присоединился к подготовке текста статьи, окончательно утвердил публикуемую версию и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Vyacheslav N. Koneshov — made a major contribution to developing the article's concept, participated in formulating the research tasks and ideas; provided methodological assistance in collecting, processing and analysing the initial data; took part in discussing the results and helped interpret the calculations obtained; provided leading methodological support in organising and conducting the experiment and furnished the laboratory facilities for the study; participated in preparing the manuscript, approved the final version to be published, and agrees to be accountable for all aspects of the work.

Mikhail N. Drobyshev — participated in discussing the research tasks, ideas and concept of the article; provided methodological assistance in collecting the primary data and technical assistance during the experiment; participated in preparing the manuscript, approved the final version to be published, and agrees to be accountable for all aspects of the work.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Нигматуллин Равиль Рашидович** — доктор физико-математических наук, профессор Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ).  
10, ул. К. Маркса, г. Казань, 420111, Россия  
e-mail: [renigmat@gmail.com](mailto:renigmat@gmail.com)  
SPIN-код: 5838-3495  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2931-4428>

**Raoul R. Nigmatullin** — Cand. Sci. (Phys.-Mat.), Professor at Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev (KNRTU-KAI).  
10, K. Marx str., Kazan 420111, Russia  
e-mail: [renigmat@gmail.com](mailto:renigmat@gmail.com)  
SPIN-code: 5838-3495  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2931-4428>

**Белов Алексей Павлович** — кандидат геолого-минералогических наук, доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».  
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [belovap@mgri.ru](mailto:belovap@mgri.ru)  
тел.: +7 (495) 255-15-10, доб. 21-52  
SPIN-код: 1910-7536  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0083-9441>

**Alexey P. Belov** — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof. of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [belovap@mgri.ru](mailto:belovap@mgri.ru)  
tel.: +7 (495) 255-15-10, ext. 21-52  
SPIN-code: 1910-7536  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0083-9441>

**Ерохин Александр Михайлович\*** — заместитель начальника управления ИТ по научно-исследовательской работе ООО «Петровайзер».  
4, корп. 2, Макарова ул., г. Тверь 170002, Россия  
e-mail: [erokhin\\_am@petroviser.ru](mailto:erokhin_am@petroviser.ru)  
тел.: +7 (915) 724-82-76  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9772-1821>

**Alexandr M. Erokhin\*** — Deputy Head of the IT Department for Research and Development at Petroviser LLC.  
4, bldg. 2, Makarova str., Tver 170002, Russia  
e-mail: [erokhin\\_am@petroviser.ru](mailto:erokhin_am@petroviser.ru)  
tel.: +7 (915) 724-82-76  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9772-1821>

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ /  
GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

**Мухаметзянов Амир Рустемович** — аспирант ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [amir@mgri.ru](mailto:amir@mgri.ru)  
SPIN-код: 8720-3159  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8981-6740>

**Amir R. Mukhametzyanov** — post-graduate researcher at the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI).

23 Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
E-mail: [amir@mgri.ru](mailto:amir@mgri.ru)  
SPIN-code: 8720-3159  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8981-6740>

**Конешов Вячеслав Николаевич** — доктор технических наук, профессор, руководитель научного направления «Потенциальные поля» Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН).

10, стр. 1, ул. Большая Грузинская, г. Москва 123242, Россия  
e-mail: [slavakoneshov@hotmail.com](mailto:slavakoneshov@hotmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8905-5695>

**Vyacheslav N. Koneshov** — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the Scientific Direction “Potential Fields” at the O.Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences (IPE RAS).

10, bldg. 1, Bolshaya Gruzinskaya str., Moscow 123242, Russia  
E-mail: [slavakoneshov@hotmail.com](mailto:slavakoneshov@hotmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8905-5695>

**Дробышев Михаил Николаевич** — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН).

10, стр. 1, ул. Большая Грузинская, г. Москва 123242, Россия  
e-mail: [drmika88@gmail.com](mailto:drmika88@gmail.com)  
SPIN-код: 6568-1161  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8761-1619>

**Mikhail N. Drobyshev** — Cand. Sci. (Tech.), Senior Research Fellow at the O.Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences (IPE RAS).

10, bldg. 1, Bolshaya Gruzinskaya str., Moscow 123242, Russia  
E-mail: [drmika88@gmail.com](mailto:drmika88@gmail.com)  
SPIN-code: 6568-1161  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8761-1619>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## ПЕРВАЯ НАХОДКА ОТПЕЧАТКОВ ФРАГМЕНТОВ СТЕБЛЕЙ МОРСКИХ ЛИЛИЙ НА ЭПИТЕКЕ ЧЕТЫРЕХЛУЧЕВЫХ КОРАЛЛОВ

В.Н. КОМАРОВ\*, Я.Д. ГРЕЧИШНИКОВА

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Палеоэкология, изучающая реконструкции экосистем геологического прошлого и их развитие во времени, занимает одно из важнейших мест в комплексе геологических наук. Результаты палеоэкологического анализа получают все более широкое применение в теоретической и прикладной геологии, прежде всего для фациального анализа, палеогеографии и детальной стратиграфии.

**Цель.** Изучение впервые обнаруженных отпечатков фрагментов стеблей морских лилий на эпитеке четырехлучевых кораллов и выяснение их палеоэкологического значения.

**Материалы и методы.** Авторами проведено макроскопическое изучение более 2300 кораллитов. Обнаруженные отпечатки члеников стеблей морских лилий исследовались с использованием бинокулярного микроскопа МБС-1.

**Результаты.** Установлена новая форма сохранности морских лилий, представленная отпечатками фрагментов их стеблей на эпитеке четырехлучевых кораллов.

**Заключение.** Выявленный механизм формирования отпечатков фрагментов стеблей морских лилий на эпитеке четырехлучевых кораллов указывает на спокойную гидродинамическую обстановку и позволяет уверенно определять положение кораллита на грунте.

**Ключевые слова:** палеоэкология, отпечатки, фрагменты стеблей морских лилий, эпитека, четырехлучевые кораллы

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Комаров В.Н., Гречишникова Я.Д. Первая находка отпечатков фрагментов стеблей морских лилий на эпитеке четырехлучевых кораллов. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2025;67(2):95—99. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-95-99> EDN: [PGVOTZ](#)

Статья поступила в редакцию 25.06.2024

Принята к публикации 06.06.2025

Опубликована 30.06.2025

\* Автор, ответственный за переписку

## DISCOVERY OF CRINOID STEM FRAGMENT IMPRINTS ON THE EPITHECA OF RUGOSE CORALS

VLADIMIR N. KOMAROV\*, YANA D. GRECHISHNIKOVA

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

### ABSTRACT

**Background.** Paleoeology, which studies the reconstruction of ecosystems of the geological past and their temporal development, has occupied a key place in the complex of geological sciences. Theoretical and applied geology are increasingly incorporating the results of paleoecological analysis, primarily for facies analysis, paleogeography, and detailed stratigraphy.

**Aim.** To study the first discovered imprints of crinoid stem fragments on the epitheca of rugose corals and elucidate their paleoecological significance.

**Materials and methods.** More than 2300 corallites were macroscopically examined. The detected imprints of crinoid stem segments were studied using a binocular microscope MBS-1.

**Results.** A new form of preservation of crinoids has been established, represented by their segment imprints on the epitheca of rugose corals.

**Conclusion.** The revealed mechanism of formation of crinoids segment imprints on the epitheca of rugose corals indicates a calm hydrodynamic environment and allows us to confidently determine the position of the corallite on the ground.

**Keywords:** paleoecology, imprints, crinoid stem fragments, epitheca, rugose corals

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Komarov V.N., Grechishnikova Ya.D. Discovery of crinoid stem fragment imprints on the epitheca of rugose corals. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(2):95—99. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-95-99> EDN: [PGVOTZ](https://www.pgvotz.ru)

*Manuscript received 25 June 2024*

*Accepted 06 June 2025*

*Published 30 June 2025*

\* Corresponding author

### Введение

Палеоэкология, изучающая реконструкции экосистем геологического прошлого и их развитие во времени, занимает одно из важнейших мест в комплексе геологических наук [1—3]. Это обусловлено как общим повышением внимания к экологическим проблемам, так и необходимостью осуществления комплексного подхода к исследованию биосферы в целом. Результаты палеоэкологического анализа получают все более широкое применение в теоретической и прикладной геологии, прежде всего для фациального анализа, палеогеографии и детальной стратиграфии. Изучение процессов исторического развития организмов во взаимосвязи с изменениями среды их обитания

имеет большое значение для теоретической биологии и общей экологии.

### Фактический материал и методы исследования

В процессе изучения эпибиоза (поселения одних организмов на поверхности других) нами были исследованы четыре вида одиночных четырехлучевых кораллов. Три из них (*Tabulophyllum gorskyi* (Bulv.) (41 экземпляр), *Tabulophyllum normale* (Walth.) (198 экземпляров), а также *Tabulophyllum weberi* (Leb.) (1231 экземпляр)) происходят из сирачойской свиты (верхний фран) Южного Тимана (р. Ухта, урочище Сирачой). Вид *Calophyllum profundum* (Germar) (856 экземпляров) был обнаружен в байтуганских слоях нижнеказанского подъяруса окрестностей села Байтуган

(Камышлинский район, северо-восток Самарской области).

У трех видов на поверхности кораллитов были неожиданно обнаружены отпечатки члеников стеблей морских лилий (рис. 1). Найти описания подобных форм сохранности в литературе нам не удалось.

У *Tabulophyllum gorskyi* (Bulv.) отпечатки обнаружены на семи кораллитах (17,1% от всех изученных образцов), у *Tabulophyllum normale* (Walth.) они выявлены на 10 кораллитах (5,1%), у *Calophyllum profundum* (Germar) они зафиксированы на трех кораллитах (0,4%).

У *Tabulophyllum gorskyi* (Bulv.) всего обнаружено 15 отпечатков, у *Tabulophyllum normale* (Walth.) — 10 отпечатков, и у *Calophyllum profundum* (Germar) — три отпечатка.

Таким образом, можно сделать вывод, что обнаруженные отпечатки представляют собой довольно редкие образования.

Среди отпечатков члеников стеблей можно установить минимум два различных морфотипа, отличающихся диаметром внутреннего канала. Величина отпечатков на всех кораллитах идентична и варьирует от 1,2 до 4,4 мм. Преобладания

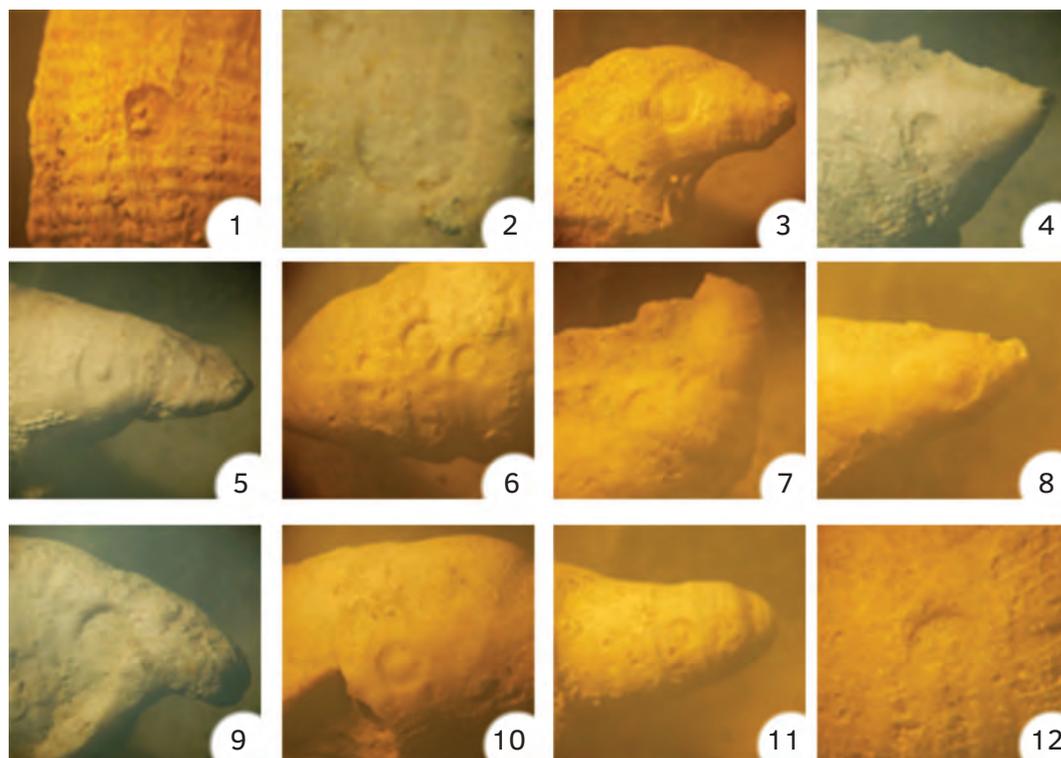
отпечатков какого-то определенного размера не отмечено.

Следует отметить, что сирачойская свита и байтуганские слои богаты остатками разнообразной бентосной фауны, в том числе и криноидеями. Изображения морских лилий из байтуганских слоев приведены, в частности, в [4, рис. 4, фиг. 10, 12]. Много члеников стеблей криноидей наблюдали и мы во вмещающей породе, которая частично сохранилась на изученных образцах.

Остатки четырехлучевых кораллов сохраняются в виде скелетных образований эктодермального происхождения, которые служили опорой и защитой живым полипам.

Чашка кораллита, расположенная в его верхней части, представляет собой детальный слепок с нижней скелетообразующей части мягкого полипа, которая имела сложное строение и закономерно изменялась во времени. Именно в области чашки происходил рост стенок кораллита и образование внутренних скелетных структур (септального и межсептального аппаратов).

Верхняя, свободная часть полипа, вероятно, имела довольно простое, мало изменявшееся строение



**Рис. 1.** Отпечатки фрагментов стеблей морских лилий на эпитеке кораллов: 1—2 — *Calophyllum profundum* (Germar); 3—7 — *Tabulophyllum gorskyi* (Bulv.); 8—12 — *Tabulophyllum normale* (Walth.). Увеличено

**Fig. 1.** Crinoid segment imprints on the epitheca of corals: 1—2 — *Calophyllum profundum* (Germar); 3—7 — *Tabulophyllum gorskyi* (Bulv.); 8—12 — *Tabulophyllum normale* (Walth.). Enlarged

в виде кожистого мешка с ротовым отверстием, окруженным щупальцами.

Стенка кораллита росла непрерывно и неравномерно быстро, формируя на эпитеке кольцевые линии нарастания. Темпы отложения известкового вещества, тесно связанные с условиями окружающей среды, возможно, и с сезонными явлениями, определяли внешнюю форму скелета. Величина скелетообразующей части полипа могла сильно изменяться под влиянием внешних условий. Но даже при ее неизменной величине и форме внешняя форма кораллита могла получиться различной. По мере роста мог изменяться диаметр чашки. Это приводило к тому, что внешняя форма кораллита осложнялась более или менее резкими чередующимися вздутиями и пережимами.

В молодом возрасте четырехлучевые кораллы почти всегда были прикреплены к субстрату. Во взрослом состоянии они часто свободно лежали на дне.

#### Заключение

Как на поверхности кораллитов могли образоваться отпечатки члеников стеблей криноидей? Ситуацию можно представить следующим образом.

Лежащий на дне кораллит продолжал непрерывно расти. Когда край чашки, продвигаясь по субстрату, встречал на своем пути лежащий

на грунте членик морской лилии, он постепенно покрывал его. При этом членик мешал росту стенки кораллита в толщину. Более толстый слой эпитеки формировался вокруг членика стебля, а сам он оказывался как бы погруженным в эпитеку. Позднее (от начальных стадий фоссилизации до частичного разрушения кораллита в зоне гипергенеза), после отделения членика от кораллита возникал отпечаток.

У большинства образцов (80%) был обнаружен только один отпечаток членика стебля морских лилий. Он всегда надежно указывает, на какой стороне лежал кораллит на грунте, по крайней мере на момент окончательного формирования отпечатка.

У трех экземпляров *Tabulophyllum gorskyi* (Bulv.) было обнаружено больше отпечатков (два, три и шесть соответственно). У одного экземпляра *Tabulophyllum normale* (Walth.) было выявлено два отпечатка.

Все отпечатки расположены вдоль кораллитов (иногда непосредственно от каблучка прирастания до края чашки) и только с одной его стороны, которая при жизни полипа была стабильно обращена к грунту.

Подобное расположение отпечатков, безусловно, указывает на спокойную гидродинамическую обстановку в древних морских бассейнах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Комаров В.Н., Верба Т.И., Вайтиева Ю.А. Спирифериды *Licharewia rugulata* и эпибиоз // Природа. 2023. № 8. С. 41—47.
2. Комаров В.Н., Волкова Е.А., Качалина М.Д. Брахиоподы *Estonirhynchia estonica* острова Сааремаа // Природа. 2023. № 4. С. 60—65.
3. Комаров В.Н., Самохвалов С.А., Волкова Е.А., Качалина М.Д. Датские рожицы: крымские кранииды — взгляд из глубины времён // Природа. 2023. № 1. С. 42—49.
4. Паперный М.Л. Новый вид макрофитных водорослей из пермских отложений северо-востока Самарской области (с. Русский Байтуган). Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2019. № 1. С. 24—31.

#### REFERENCES

1. Komarov V.N., Verba T.I., Vaitieva Yu.A. Spiriferids *Licharewia rugulata* and epibiosis // Nature. 2023. No. 8. pp. 41—47 (In Russ.).
2. Komarov V.N., Volkova E.A., Kachalina M.D. Brachiopods *Estonirhynchia estonica* of Saaremaa Island // Priroda. 2023. No. 4. P. 60—65 (In Russ.).
3. Komarov V.N., Samokhvalov S.A., Volkova E.A., Kachalina M.D. Danish faces: Crimean craniids — a view from the depths of time // Priroda. 2023. No. 1. P. 42—49 (In Russ.).
4. Paperny M.L. A new species of macrophytic algae from Permian deposits of the north-east of the Samara region (Russian Baytugan village). Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2019. No. 1. P. 24—31 (In Russ.).

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Комаров В.Н. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Гречишникова Я.Д. — внесла вклад в анализ палеонтологического материала и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Vladimir N. Komarov — made the main contribution to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Yana D. Grechishnikova — contributed to the analysis of paleontological material and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Комаров Владимир Николаевич\*** — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры палеонтологии и региональной геологии Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе. 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия e-mail: [komarovvn@mgri.ru](mailto:komarovvn@mgri.ru) тел.: +7 (916) 481-96-84 SPIN-код: 2739-5934 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4719-1484>

**Гречишникова Яна Дмитриевна** — студент 5-го курса ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», (Москва); техник I категории отдела черных и цветных металлов ФГБУ «ВИМС». 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия 31, пер. Старомонетный, г. Москва 119017, Россия e-mail: [grechishnikova.yd@vims-geo.ru](mailto:grechishnikova.yd@vims-geo.ru) тел.: +7 (925) 054-84-94 ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1371-2471>

**Vladimir N. Komarov\*** — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof., Department of paleontology and regional geology, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: [komarovvn@mgri.ru](mailto:komarovvn@mgri.ru) tel.: +7 (916) 481-96-84 SPIN-code: 2739-5934 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4719-1484>

**Yana D. Grechishnikova** — 5<sup>th</sup> year student, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting; technician of the I category of the Department of ferrous and non-ferrous metals, FSBI «VIMS». 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia 31, lane. Staromonetny, Moscow 119017, Russia e-mail: [grechishnikova.yd@vims-geo.ru](mailto:grechishnikova.yd@vims-geo.ru) tel.: +7 (925) 054-84-94 ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1371-2471>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



# ИЗМЕНЕНИЯ РОДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ БРАХИОПОД НА ИНТЕРВАЛАХ КРУПНЕЙШИХ МАССОВЫХ ВЫМИРАНИЙ ФАНЕРОЗОЯ

Д.А. РУБАН

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»  
43, ул. 23-я линия, г. Ростов-на-Дону 344019, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Брахиоподы эволюционировали на протяжении фанерозоя, и знания о них важны при изучении крупнейших биотических кризисов. Пополнение и ревизия палеонтологической информации требуют регулярного пересмотра оценок влияния кризисов на таксономическое разнообразие данной группы морских организмов.

**Цель.** Изучение динамики родового разнообразия брахиопод под влиянием наиболее известных массовых вымираний фанерозоя с использованием трех блоков данных, представляющих разные «поколения» палеонтологических компиляций.

**Материалы и методы.** На основе каждого блока данных построена кривая родового разнообразия брахиопод. При этом три кривые приведены к единой шкале геологического времени. Для массовых вымираний оцениваются снижение числа родов и соотношение с предшествующими и последующими тенденциями изменения разнообразия.

**Результаты.** Все кривые показывают, что массовые вымирания конца ордовика, рубежей перми и триаса, триаса и юры, мела и палеогена способствовали снижению родового разнообразия брахиопод. Наибольшим было влияние катастрофы на рубеже перми и триаса. Напротив, эффект франско-фаменского (позднедевонского) события был минимальным или отсутствовал вовсе. Тенденции изменения разнообразия до и после кризисных интервалов различались.

**Обсуждение результатов.** Ретроспективное рассмотрение кривых родового разнообразия брахиопод показывает, что в одних случаях более новая информация говорит о большей интенсивности кризисов, а в других — о меньшей. Более того, смена «поколений» палеонтологических компиляций не способствовала лучшему пониманию динамики числа родов рассматриваемой группы организмов. В этой связи рекомендуется использовать три кривые совместно, а разницу между ними понимать как величину ошибки.

**Заключение.** Полученные результаты указывают на подверженность брахиопод массовым вымираниям, но не всем из них и в разной степени. Более того, неопределенность ряда оценок сохраняется, что делает актуальными последующие исследования развития брахиопод на кризисных интервалах геологической истории.

**Ключевые слова:** геологические события, катастрофы, кривые разнообразия, морская биота, ретроспективный анализ, таксономическое разнообразие, шкала геологического времени

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Рубан Д.А. Изменения родового разнообразия брахиопод на интервалах крупнейших массовых вымираний фанерозоя. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(2):100—110. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-100-110> EDN: [PRQRPN](#)

Статья поступила в редакцию 12.05.2025

Принята к публикации 15.05.2025

Опубликована 30.06.2025

# CHANGES IN THE GENERIC DIVERSITY OF BRACHIOPODS AT THE INTERVALS OF THE LARGEST PHANEROZOIC MASS EXTINCTIONS

DMITRY A. RUBAN

*Southern Federal University  
43, 23 Liniya str., Rostov-on-Don 344019, Russia*

## ABSTRACT

**Background.** Brachiopods evolved throughout the Phanerozoic, and their study contributes to the knowledge of the largest biotic crises. Accumulation and revision of paleontological information require regular re-evaluation of the influence of these crises on the taxonomic diversity of the given group of marine organisms.

**Aim.** To study the dynamics of the generic diversity of brachiopods under the influence of the most famous mass extinctions of the Phanerozoic based on three datasets representing different “generations” of paleontological compilations.

**Materials and methods.** On the basis of each dataset, a curve of generic diversity of brachiopods is constructed. Three curves are drawn against the uniform geological time scale. For the periods of mass extinctions considered, a decrease in the number of genera and relations to the preceding and forthcoming trends of diversity changes are estimated.

**Results.** The constructed curves indicate that the end-Ordovician, Permian/Triassic, Triassic/Jurassic, and Cretaceous/Paleogene mass extinctions triggered a decrease in the generic diversity of brachiopods. The largest was the influence of the Permian/Triassic catastrophe. Conversely, the effect of the Frasnian–Famennian (Late Devonian) event was either minimal or absent. The trends of diversity changes before and after critical intervals showed a different dynamic.

**Discussion.** The retrospective analysis of the curves of brachiopod generic diversity showed that newer information may have indicated a higher or lower intensity of crises in different cases. Moreover, the changes of the “generations” of paleontological compilations did not contribute to an improved understanding of the dynamics of the considered genera. Therefore, the three curves should be used in combination, treating the difference between them as the degree of error.

**Conclusion.** The results obtained indicate the vulnerability of brachiopods to mass extinctions, although to a different extent. Moreover, some estimates remain uncertain, which substantiates further research into the development of brachiopods during the critical intervals of the geological history.

**Keywords:** geological events, catastrophes, diversity curves, marine biota, retrospective analysis, taxonomic diversity, geologic time scale

**Conflict of interest:** the author declares no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Ruban D.A. Changes in the generic diversity of brachiopods at the intervals of the largest Phanerozoic mass extinctions. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(2):100—110. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-100-110> EDN: PRQRPN

*Manuscript received 12 May 2025*

*Accepted 15 May 2025*

*Published 30 June 2025*

Брахиоподы являются крупной группой ископаемых организмов, которые эволюционировали на протяжении фанерозоя, а их разнообразие испытывало значительные изменения [15, 32, 34, 67,

69]. Изучение этой группы имеет большое значение для понимания биотических катастроф в истории Земли [2, 4, 10, 36, 47, 48, 64], интерес к которым проявляют и отечественные специалисты

[1–6]. Известно, что «великие» массовые вымирания [7, 35, 51] оказали значительное влияние на брахиопод.

Если принять во внимание, что биотические катастрофы могут пониматься как кризисы таксономического разнообразия [40], возникает закономерный вопрос о том, насколько именно оно снижалось. Неизбежная неопределенность ответа на него связана с тем, что накопление, пересмотр и стратиграфическая коррекция палеонтологических данных происходят непрерывно. В этом отношении брахиоподы особенно интересны, так как за четверть века появились три огромных и качественно отличных блока информации о них. Они отражают состояние знаний о стратиграфическом распространении родов брахиопод по состоянию на 1990-е [58], 2000-е [18] и 2010-е годы [42]. Используя их для построения кривых разнообразия, можно не только оценить влияние массовых вымираний на данную группу организмов, но и зафиксировать изменение таких оценок с течением времени.

Целью настоящей статьи является анализ изменений родового разнообразия брахиопод под влиянием пяти «великих» массовых вымираний в свете различных блоков информации. Акцент именно на этих биотических катастрофах связан с высокой степенью их изученности. Более того, интерес к ним изначально формировал основу знаний о массовых вымираниях [51], хотя известны и другие крупные кризисы [29, 39, 50]. На родовом уровне информация о брахиоподах отличается наибольшей полнотой.

Новизна исследования связана с построением и сравнением кривых, оригинальность которых определяется привязкой к современной версии шкалы геологического времени. Работа имеет не только аналитическую, но и обзорную составляющую, и соответствующая библиографическая информация может представлять ценность для отечественных специалистов. Практическая значимость определяется потребностью в знаниях об изменении таксономического разнообразия стратиграфически важных организмов на событийных уровнях, служащих реперами при геологоразведочных работах, поиске месторождений полезных ископаемых.

### Материалы и методы

Принципы построения и интерпретации кривых разнообразия брахиопод хорошо разработаны в современной науке [27, 36, 44, 61, 64]. В настоящей работе учитывается количество родов

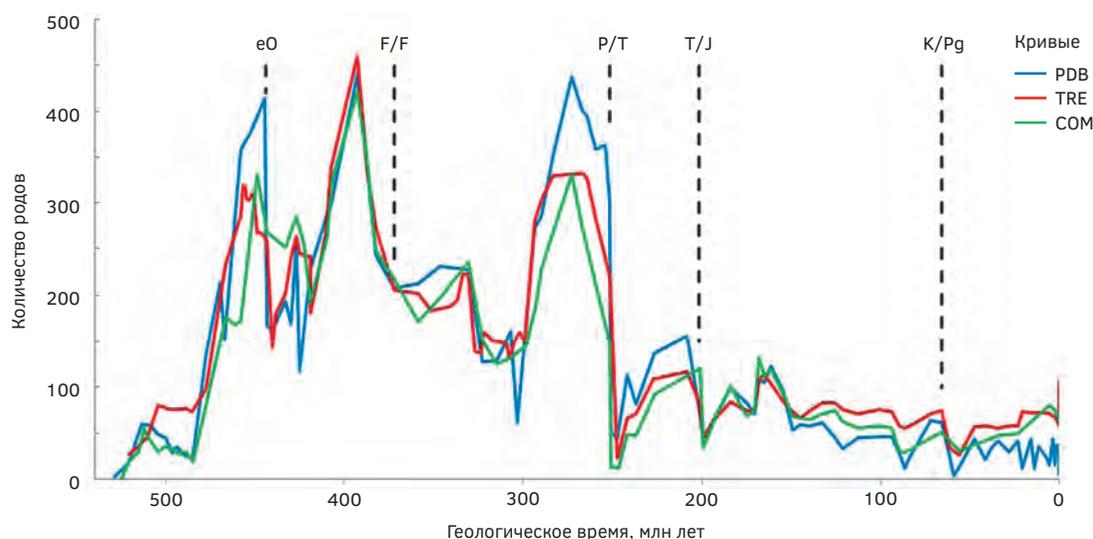
данной группы организмов в веках всех периодов фанерозоя. Соответствующие кривые выравниваются по абсолютной шкале геологического времени.

Были использованы три источника информации [18, 42, 58]. Данные о родовом разнообразии брахиопод из работы [58] извлекались в помощь онлайн-инструмента, доступного по ссылке: <https://strata.geology.wisc.edu/jack/>. В сводке [18] данные даются в текстовом и графическом видах. База данных [42] содержит специальную форму для извлечения требующейся информации. Принципиально важно то, что вышеуказанные источники используют разные шкалы геологического времени, в том числе с региональными и устаревшими подразделениями. В этой связи потребовалась привязка стратиграфической основы каждого источника к современной версии международной шкалы с установленными для границ веков абсолютными отметками [24] (см. обновления этой шкалы на <https://stratigraphy.org/>).

Извлечение информации из вышеуказанных источников и стратиграфическая коррекция позволили построить кривые COM (от слова «compendium», определяющего тип источника; данные [58]), TRE (от слова «treatise», относящегося к серии источника; данные [18]), PDB (от сокращенного названия базы данных «Paleobiology Database»; данные [42]). На каждую из них проецировались временные отметки пяти «великих» массовых вымираний, имевших место в конце ордовика, в позднем девоне, на рубежах перми и триаса, триаса и юры, мела и палеогена. Далее определялась их выраженность на каждой кривой, т.е. характер изменений последней на интервале массового вымирания, а также до и после него.

### Результаты

Массовое вымирание конца ордовика оказало исключительно сильное воздействие на морские экосистемы [26, 60, 65]. Подверженность ему брахиопод хорошо известна [9, 19, 23, 30, 53]. Все три кривые фиксируют снижение родового разнообразия на интервале данного массового вымирания (рис. 1). Кривая COM показывает сокращение числа родов в 1,2 раза. Оно последовало за локальным пиком в первой половине позднего ордовика и продолжилось в раннем силуре. Кривая TRE обнаруживает менее выраженный эффект (снижение родового разнообразия в <1,1 раза), который проявился на фоне долговременной негативной тенденции. Интересно отметить, что самый сильный спад числа родов имел место не в конце



**Рис. 1.** Динамика родового разнообразия брахиопод в фанерозое: COM — по данным [58], TRE — по данным [18], PDB — по данным [42]. Массовые вымирания: eO — конца ордовика, F/F — франско-фаменское (позднедевонское), P/T — рубежа перми и триаса, T/J — перехода от триаса к юре, K/Pg — рубежа мела и палеогена

**Fig. 1.** Dynamics of the generic diversity of brachiopods in the Phanerozoic: COM — according to [58], TRE — according to [18], PDB — according to [42]. Mass extinctions: eO — end-Ordovician, F/F — Frasnian-Famennian (Late Devonian), P/T — Permian-Triassic boundary, T/J — Triassic-Jurassic transition, K/Pg — Cretaceous-Paleogene boundary

ордовика (см. выше), а в начале силура, после чего разнообразие стало активно восстанавливаться. Кривая PDB говорит о сокращении разнообразия в 2,5 раза, которое имело место непосредственно в конце ордовика. Оно произошло сразу после пика в середине позднего ордовика и замедлилось на непродолжительное время в раннем силуре, после чего стало постепенно расти.

Франско-фаменское (позднедевонское) массовое вымирание стало одной из самых значимых палеозойских биотических катастроф [3, 6, 20, 49, 55]. Известно, что оно сказалось на брахиоподах [2, 14, 17], что фиксируется не всеми кривыми их родового разнообразия (рис. 1). Кривая COM показывает сокращение числа таксонов в 1,3 раза. При этом соответствующая тенденция установилась еще с начала среднего девона, а отмеченное сокращение стало ее кульминацией. Кривая TRE выявляет незначительное (<1,1 раза) сокращение числа родов, которое последовало за значительно более сильным спадом разнообразия в предшествующие века. В самом начале карбона число родов уменьшилось сильнее. Кривая PDB указывает на небольшое (<1,1 раза) увеличение разнообразия в фаменском веке в сравнении с франским. Как и в предыдущих случаях, этому предшествовал длительный спад числа родов, а зафиксированный на интервале рассматриваемого массового вымирания слабый рост сохранялся и в начале карбона.

Массовое вымирание на рубеже перми и триаса, вполне вероятно, является самой сильной биотической катастрофой фанерозоя, оказавшей беспрецедентное воздействие на морские экосистемы [12, 25, 43]. Его опустошительное влияние на брахиопод уже отмечалось исследователями [28, 52], хотя некоторые представители данной группы организмов пережили его [16]. Негативные эффекты данного события фиксируются всеми кривыми (рис. 1). Кривая COM выявляет очень интенсивное снижение числа родов (в 11,4 раза). Оно наложило на тенденцию к снижению разнообразия, установившуюся еще в середине перми и достигшую кульминации в оленекском веке раннего триаса. Кривая TRE также показывает очень сильное сокращение числа родов (в 9,6 раза), который стал кульминацией реализовавшейся ранее тенденции. Кривая PDB указывает на менее интенсивное, но все равно значительное (в 5,8 раза) снижение таксономического разнообразия. Последнее началось еще в середине перми, прервалось кратким эпизодом незначительного роста, после чего усилилось на интервале массового вымирания, продолжившись в раннем триасе.

На переходе от триаса к юре имело место еще одно массовое вымирание, которое отличалось комплексностью [13, 41, 54, 56, 66]. Брахиоподы оказались подвержены влиянию этого события [21, 63]. Кривые их таксономического разнообразия

фиксируют отрицательный пик вблизи рубежа триаса и юры (рис. 1). Кривая COM показывает четко выраженное сокращение числа родов (в 3,6 раза). Оно прервало ранее имевшее место увеличение разнообразия, которое возобновилось в первой половине ранней юры. Кривая TRE указывает на менее интенсивный кризис, когда число родов снизилось в 1,8 раза. Ему предшествовал заметный спад в рэтском веке, однако в ранней юре начался новый рост. Кривая PDB позволяет увидеть аналогичное сокращение разнообразия (также в 1,8 раза), которое продолжило установившуюся незадолго до этого тенденцию. Как и в двух других случаях, увеличение числа родов началось в ранней юре.

Массовое вымирание на рубеже мела и палеогена является самым известным и при этом оказавшим сильное воздействие на морскую биоту [5, 8, 31, 37]. Из-за общего сокращения таксономического разнообразия брахиопод во второй половине мезозоя — кайнозое влиянию этой катастрофы на них уделялось не столь много внимания, хотя отдельные исследования фиксировали соответствующие эффекты [33, 57, 62]. Иногда результаты оказывались противоречивыми [38]. Тем не менее все построенные кривые довольно уверенно фиксируют воздействие этого массового вымирания на рассматриваемую группу организмов (рис. 1). Кривая COM показывает снижение числа родов в 1,6 раза. Оно имело место сразу после небольшого положительного пика в маастрихте, и за ним последовал медленный, но долгий рост. Кривая TRE указывает на больший (в 2,1 раза) спад разнообразия, который продолжился в палеоцене. При этом во второй половине мела (сантонский — маастрихтский века) число таксонов медленно, но направленно росло. Кривая PDB отображает еще более интенсивный (в 2,3 раза) спад родового разнообразия. Тенденция к сокращению числа таксонов установилась еще в маастрихтском веке и достигла кульминации в зеландском веке, после чего разнообразие так и не вернулось к значениям конца мезозоя.

### Обсуждение результатов

Рассмотренные кривые родового разнообразия брахиопод различаются качественно, так как основаны на блоках информации [18, 42, 58], скомпилированной разными способами. В этой связи имеет смысл обобщить полученные результаты. Получается, что из пяти «великих» массовых вымираний четыре уверенно фиксируются палеонтологическими данными, так как им соответствуют негативные эффекты, отображаемые всеми

кривыми. Исключением оказывается позднедевонская катастрофа, значительное влияние которой на брахиопод устанавливается только одной и при этом самой «старой» кривой. Это означает, что или рассматриваемая группа организмов оказалась устойчивой к действию данного массового вымирания в глобальном масштабе, или наши знания об эволюции позднедевонских брахиопод отличаются неполнотой. Также эффект этой биотической катастрофы мог носить кратковременный характер, а потому не фиксируется при вековом разрешении кривых.

Еще одно заслуживающее внимания наблюдение касается выражения негативных эффектов массовых вымираний на кривых родового разнообразия брахиопод. Как следует из представленных выше результатов, однозначными выглядят только две ситуации, а именно установление тенденции к сокращению разнообразия до катастрофы на рубеже перми и триаса и диверсификация сразу после вымирания на рубеже триаса и юры. В остальных случаях между кривыми фиксируется разница. С учетом вышесказанного получаем, что влияние рассматриваемых биотических катастроф на брахиопод видно четче, чем их соотношение с предшествующими и последующими тенденциями изменения разнообразия.

Хотя все три кривые сохраняют свою актуальность, нельзя игнорировать тот факт, что между появлением соответствующих источников информации [18, 42, 58] прошло некоторое время, и эти источники представляют разные «поколения» палеонтологических компиляций. Смена этих «поколений» связана с накоплением и ревизией информации о брахиоподах, а также видоизменением шкалы геологического времени (в частности, на некоторых интервалах она становилась более дробной, а на других — менее дробной). В таком случае полученные результаты (рис. 1) могут сравниваться в ретроспективном отношении. Совершенствование палеонтологической и стратиграфической информации в течение трех десятилетий позволило обнаружить более интенсивное и более резкое воздействие биотического кризиса конца ордовика на родовое разнообразие брахиопод, полное отсутствие влияния франско-фаменского кризиса, менее интенсивное и нерезкое проявление кризиса на рубеже перми и триаса, менее интенсивный и менее резкий стресс на рубеже триаса и юры, а также более интенсивное, но менее резкое воздействие кризиса на рубеже мела и палеогена. В указанных случаях интенсивность означает величину сокращения

числа родов (в разы), а резкость — нарушение предшествовавшей тенденции (наибольшая резкость имеет место в том случае, если вызываемый катастрофой спад разнообразия нарушает ранее имевший место долговременный рост). Таким образом оказывается, что прогресс палеонтологических и стратиграфических знаний по-разному влияет на понимание изменений родового разнообразия брахиопод на интервалах массовых вымираний. Одни из них оказываются более интенсивными и/или резкими, чем считалось ранее, а другие — менее интенсивными и/или резкими.

Общий вид построенных кривых (рис. 1) поднимает и еще один вопрос. Казалось бы, продолжающееся накопление палеонтологической информации должно выражаться в более высоких оценках разнообразия групп ископаемых организмов с течением времени. Даже если отдельные таксоны признаются невалидными или объединяются, то параллельно с ними обнаруживаются все новые и новые. Однако это предположение оказывается полностью несостоятельным. Новейшая кривая PDB лишь на отдельных участках проходит выше более «старых» кривых COM и TRE, а кривая COM кое-где занимает максимальную позицию по отношению к двум другим (рис. 1). Конечно, это можно объяснить изменениями дробности шкалы геологического времени, но лишь отчасти. Наиболее интересные примеры обнаруживаются в мезозое, где стратиграфическая основа использованных источников палеонтологической информации большей частью одинакова [18, 42, 58], но при этом новейшая кривая PDB проходит часто ниже двух других кривых. Компиляция информации о брахиоподах на более современной основе, а именно с использованием постоянно пополняемой базы данных [42], не позволила достичь уровня знаний, который обеспечивался традиционными способами работы [18, 58]. Этот вывод также подтверждает мысль о том, что три рассмотренные кривые лучше всего использовать совместно, не отдавая явного предпочтения наиболее «свежей» из них. В таком случае различия между кривыми указывают на приблизительный размер ошибки, который надо учитывать при интерпретациях. Дальнейший прогресс может быть связан с созданием палеонтологических баз данных

с применением технологий искусственного интеллекта [45, 59, 68]. При этом важно понимать, что некоторые биотические события известны еще с XIX века [11, 22, 46], и, следовательно, их полная нивелировка вряд ли ожидаема.

Сравнивая пять «великих» массовых вымираний по их воздействию на родовое разнообразие брахиопод и при этом принимая равнозначность построенных кривых, можно предполагать, что наибольший стресс данной группы организмов был связан с катастрофой на рубеже перми и триаса, а наименьший — с позднедевонским кризисом. Вторым по степени влияния оказывается вымирание рубежа триаса и юры, третьим — рубежа мела и палеогена, четвертым — конца ордовика.

### Заключение

Проведенное исследование позволило сделать следующие выводы. Во-первых, построение и сравнение кривых родового разнообразия брахиопод позволило подтвердить их подверженность влиянию четырех из пяти «великих» массовых вымираний. Во-вторых, результаты выявляют значительную неопределенность в понимании воздействия франско-фаменской биотической катастрофы на рассматриваемую группу организмов. В-третьих, смена «поколений» палеонтологических компиляций привела к тому, что влияние один массовых вымираний оказалось сильнее, а других — слабее, и в целом она не способствовала лучшему пониманию их эффектов.

В практическом отношении полученные результаты указывают на необходимость более тщательной работы с палеонтологической и стратиграфической информацией при определении событийных уровней, значимых для геологоразведочных работ. Отдельные группы организмов могут оказаться более или менее полезными при установлении и корреляции маркирующих горизонтов, связанных с интервалами массовых вымираний. Перспективным направлением для последующих исследований является разработка более совершенных инструментов компиляции и интерпретации палеонтологической информации, которые бы позволяли полноценно учитывать ранее накопленные данные без стратиграфических неточностей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.С. Типизация фанерозойских событий массового вымирания организмов. Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2000. № 5. С. 6—14.
2. Афанасьева Г.А. Разнообразие и распространение брахиопод отряда Chonetida в карбоне. Палеонтологический журнал. 2022. № 5. С. 19—28.

3. Бараш М.С. Причины великого массового вымирания морских организмов в позднем девоне. *Океанология*. 2016. № 6. С. 946—958.
4. Грунт Т.А. Таксономия и основные направления развития замковых брахиопод отряда Athyridida. Ученые записки Казанского университета. Естественные науки. 2010. Т. 152. Кн. 4. С. 123—134.
5. Кочергин Д.В., Грановская Н.В. Признаки катастрофического космического события на границе меловых и палеогеновых отложений Северо-Западного Кавказа. *Грозненский естественнонаучный бюллетень*. 2024. № 1. С. 42—48.
6. Кузнецов В.Г., Журавлева Л.М. Рифообразование в эпохи массовых вымираний: граница франа — фамена и девона — карбона. Доклады Академии наук. 2018. № 4. С. 410—413.
7. Algeo T.J., Shen J. Theory and classification of mass extinction causation. *National Science Review*. 2024. V. 11. P. nwad237.
8. Alvarez L.W., Alvarez W., Asaro F., Michel H.V. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*. 1980. V. 208. P. 1095—1108.
9. Baarli B.G., Huang B., Johnson M.E. The deep-water, high-diversity Edgewood-Cathay brachiopod Fauna and its Hirnantian counterpart. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 2024. V. 642. P. 112153.
10. Baeza-Carratalá J.F., García Joral F. The last representatives of the Superfamily Wellerelloidea (Brachiopoda, Rhynchonellida) in the westernmost Tethys (Iberian paleomargins) prior to their demise in the early Toarcian Mass Extinction Event. *Journal of Paleontology*. 2022. V. 96. P. 991—1023.
11. Bailey R. Mass extinctions and their causes. *Geology Today*. 2024. V. 40. P. 21—28.
12. Benton M.J., Twitchett R.J. How to kill (almost) all life: The end-Permian extinction event. *Trends in Ecology and Evolution*. 2003. V. 18. P. 358—365.
13. Bond A.D., Dickson A.J., Ruhl M., Bos R., van de Schootbrugge B. Globally limited but severe shallow-shelf euxinia during the end-Triassic extinction. *Nature Geoscience*. 2023. V. 16. P. 1181—1187.
14. Brisson S.K., Pier J.Q., Beard J.A., Fernandes A.M., Bush A.M. Niche conservatism and ecological change during the Late Devonian mass extinction. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2023. V. 290. P. 20222524.
15. Carlson S.J. The Evolution of Brachiopoda. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2016. V. 44. P. 409—438.
16. Chen Z.-Q., Kaiho K., George A.D. Survival strategies of brachiopod faunas from the end-Permian mass extinction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2005. V. 224. P. 232—269.
17. Copper P. Evaluating the Frasnian-Famennian mass extinction: comparing brachiopod faunas. *Acta Palaeontologica Polonica*. 1998. V. 43. P. 137—154.
18. Curry G.B., Brunton C.H.C. Stratigraphic distribution of brachiopods. *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Part H. Brachiopoda. Revised. Vol. 6. Boulder: GSA, 2007. P. 2901—3081.
19. Darroch S.A.F., Wagner P.J. Response of beta diversity to pulses of Ordovician-Silurian mass extinction. *Ecology*. 2015. V. 96. P. 532—549.
20. De Vleeschouwer D., Da Silva A.-C., Sinnesael M., Chen D., Day J.E., Whalen M.T., Guo Z., Claeys P. Timing and pacing of the Late Devonian mass extinction event regulated by eccentricity and obliquity. *Nature Communications*. 2017. V. 8. P. 2268.
21. Deng S., Lu Y., Xu D. Progress and review of the studies on the end-Triassic mass extinction event. *Science in China, Series D: Earth Sciences*. 2005. V. 48. P. 2049—2060.
22. Eldredge N. Revisiting Clarence King's "Catastrophism and Evolution" (1877). *Biological Theory*. 2019. V. 14. P. 247—253.
23. Finnegan S., Rasmussen C.M.Ø., Harper D.A.T. Identifying the most surprising victims of mass extinction events: An example using Late Ordovician brachiopods. *Biology Letters*. 2017. V. 13. P. 20170400.
24. Gradstein F.M., Ogg J.G., Schmitz M., Ogg G. (Editors). *Geologic Time Scale 2020*. Amsterdam: Elsevier, 2020. 1390 p.
25. Grasby S.E., Ardakani O.H., Liu X., Bond D.P.G., Wignall P.B., Strachan L.J. Marine snowstorm during the Permian-Triassic mass extinction. *Geology*. 2024. V. 52. P. 120—124.
26. Harper D.A.T. Late Ordovician Mass Extinction: Earth, fire and ice. *National Science Review*. 2024. V. 11. P. nwad319.
27. Harper D.A.T., Drachen A. The Orthida: The rise and fall of a great Palaeozoic brachiopod clade. *Special Papers in Palaeontology*. 2010. V. 84. P. 107—117.
28. He W.-H., Shi G.R., Twitchett R.J., Zhang Y., Song H.-J., Yue M.-L., Wu S.-B., Wu H.-T., Yang T.-L., Xiao Y.-F. Late Permian marine ecosystem collapse began in deeper waters: Evidence from brachiopod diversity and body size changes. *Geobiology*. 2015. V. 13. P. 123—138.
29. House M.R. Strength, timing, setting and cause of mid-Palaeozoic extinctions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2002. V. 181. P. 5—25.
30. Huang B., Rong J., Cocks L.R.M. Global palaeobiogeographical patterns in brachiopods from survival to recovery after the end-Ordovician mass extinction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2012. V. 317—318. P. 196—205.
31. Jablonski D., Raup D.M. Selectivity of end-Cretaceous marine bivalve extinctions. *Science*. 1995. V. 268. P. 389—391.
32. Jain S. *Fundamentals of Invertebrate Palaeontology. Macrofossils*. New Delhi: Springer, 2016. 405 p.
33. Johansen M.B. Background extinction and mass extinction of the brachiopods from the chalk of north-west Europe. *Palaios*. 1989. V. 4. P. 243—250.
34. Jones R.W. *Applied Palaeontology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 434 p.
35. Kaiho K. Relationship between extinction magnitude and climate change during major marine and terrestrial animal crises. *Biogeosciences*. 2022. V. 19. P. 3369—3380.
36. Liang Y., Strotz L.C., Topper T.P., Holmer E.L., Budd G.E., Chen Y., Fang R., Hu Y., Zhang Z. Evolutionary

- contingency in lingulid brachiopods across mass extinctions. *Current Biology*. 2023. V. 33. P. 1565—1572.
37. Lowery C.M., Bralower T.J., Owens J.D., Rodriguez-Tovar F.J., Jones H., Smit J., Whalen M.T., Claeys P., Farley K., Gulick S.P.S., Morgan J.V., Green S., Chenot E., Christeson G.L., Cockell C.S., Coolen M.J.L., Ferriere L., Gebhardt C., Goto K., Kring D.A., Lofi J., Ocampo-Torres R., Perez-Cruz L., Pickersgill A.E., Poelchau M.H., Rae A.S.P., Rasmussen C., Rebolledo-Vieyra M., Riller U., Sato H., Tikoo S.M., Tomioka N., Urrutia-Fucugauchi J., Vellekoop J., Wittman A., Xiao L., Yamaguchi K.E., Zylberman W. Rapid recovery of life at ground zero of the end-Cretaceous mass extinction. *Nature*. 2018. V. 558. P. 288—291.
  38. Macleod N., Rawson P.F., Forey P.L., Banner F.T., Boudagher-Fadel M.K., Bown P.R., Burnett J.A., Chambers P., Culver S., Evans S.E., Jeffry C., Kaminski M.A., Lord A.R., Milner A.C., Milner A.R., Morris N., Owen E., Rosen B.R., Smith A.B., Taylor P.D., Urquhart E., Young J.R. The Cretaceous-Tertiary biotic transition. *Journal of the Geological Society*. 1997. V. 154. P. 265—292.
  39. McGhee G.R., Clapham M.E., Sheehan P.M., Bottjer D.J., Droser M.L. A new ecological-severity ranking of major Phanerozoic biodiversity crises. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2013. V. 370. P. 260—270.
  40. Padian K. Measuring and comparing extinction events: Reconsidering diversity crises and concepts. *Integrative and Comparative Biology*. 2018. V. 58. P. 1191—1203.
  41. Pálffy J., Mortensen J.K., Carter E.S., Smith P.L., Friedman R.M., Tipper H.W. Timing the end-Triassic mass extinction: First on land, then in the sea? *Geology*. 2000. V. 28. P. 39—42.
  42. Paleobiology Database, 2024. URL: <https://paleobiodb.org/> (дата обращения: 24.04.2024).
  43. Payne J.L., Clapham M.E. End-Permian mass extinction in the oceans: An ancient analog for the twenty-first century? *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2012. V. 40. P. 89—111.
  44. Penny A., Kröger B. Impacts of spatial and environmental differentiation on early Palaeozoic marine biodiversity. *Nature Ecology and Evolution*. 2019. V. 3. P. 1655—1660.
  45. Peters S.E., Zhang C., Livny M., Ré C. A machine reading system for assembling synthetic paleontological databases. *PLoS ONE*. 2014. V. 9. P. e113523.
  46. Posenato R. The end-Permian mass extinction (EPME) and the early triassic biotic recovery in the western Dolomites (Italy): state of the art. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*. 2019. V. 58. P. 11—34.
  47. Powell M.G. Timing and selectivity of the Late Mississippian mass extinction of brachiopod genera from the Central Appalachian Basin. *Palaios*. 2008. V. 23. P. 525—534.
  48. Qiao L., Qie W. Palaeobiogeographic dynamics of brachiopod faunas during the Frasnian-Famennian biotic crisis in South China. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*. 2019. V. 99. P. 91—99.
  49. Racki G. A volcanic scenario for the Frasnian-Famennian major biotic crisis and other Late Devonian global changes: More answers than questions? *Global and Planetary Change*. 2020. V. 189. P. 103174.
  50. Rampino M.R., Caldeira K., Rodriguez S. Sixteen mass extinctions of the past 541 My correlated with 15 pulses of Large Igneous Province (LIP) volcanism and the 4 largest extraterrestrial impacts. *Global and Planetary Change*. 2024. V. 234. P. 104369.
  51. Raup D.M., Sepkoski J.J. Mass extinctions in the marine fossil record. *Science*. 1982. V. 215. P. 1501—1503.
  52. Rong J.-Y., Shen S.-Z. Comparative analysis of the end-Permian and end-Ordovician brachiopod mass extinctions and survivals in South China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2002. V. 188. P. 25—38.
  53. Rong J., Harper D.A.T., Huang B., Li R., Zhang X., Chen D. The latest Ordovician Hirnantian brachiopod faunas: New global insights. *Earth-Science Reviews*. 2020. V. 208. P. 103280.
  54. Ruban D.A. A review of the Late Triassic conodont conundrum: survival beyond biotic perturbations. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*. 2022. V. 102. P. 373—382.
  55. Sandberg C.A., Morrow J.R., Ziegler W. Late Devonian sea-level changes, catastrophic events, and mass extinctions. *Special Paper of the Geological Society of America*. 2002. V. 356. P. 473—487.
  56. Schoepfer S.D., Shen J., Sano H., Algeo T.J. Onset of environmental disturbances in the Panthalassic Ocean over one million years prior to the Triassic-Jurassic boundary mass extinction. *Earth-Science Reviews*. 2002. V. 224. P. 103870.
  57. Schröder A.E., Surlyk F. Adaptive brachiopod morphologies in four key environments of the Late Cretaceous-Danian Chalk Sea of northern Europe: A comparative study. *Cretaceous Research*. 2020. V. 107. P. 104288.
  58. Sepkoski J.J. A compendium of fossil marine animal genera. *Bulletins of American Paleontology*. 2002. V. 363. P. 1—560.
  59. Serra F., Balseiro D., Monnet C., Randolfe E., Bignon A., Rustan J.J., Bault V., Munoz D.F., Vaccari N.E., Martinetto M., Crônier C., Waisfeld B.G. A dynamic and collaborative database for morphogeometric information of trilobites. *Scientific Data*. 2023. V. 10. P. 841.
  60. Sheehan P.M. The late Ordovician mass-extinction. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2001. V. 29. P. 331—364.
  61. Shen S.-Z., Shi G.R. Paleobiogeographical extinction patterns of Permian brachiopods in the Asian-western Pacific region. *Paleobiology*. 2002. V. 28. P. 449—463.
  62. Surlyk F., Johansen M.B. End-Cretaceous brachiopod extinctions in the Chalk of Denmark. *Science*. 1984. V. 223. P. 1177—1179.
  63. Tomašových A., Siblík M. Evaluating compositional turnover of brachiopod communities during the end-Triassic mass extinction (Northern Calcareous Alps): Removal of dominant groups, recovery and community reassembly. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2007. V. 244. P. 170—200.

64. Vörös A., Kocsis Á.T., Pálffy J. Mass extinctions and clade extinctions in the history of brachiopods: Brief review and a post-Paleozoic case study. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*. 2019. V. 125. P. 711—724.
65. Wang G., Zhan R., Percival I.G. The end-Ordovician mass extinction: A single-pulse event?. *Earth-Science Reviews*. 2019. V. 192. P. 15—33.
66. Wignall P.B., Atkinson J.W. A two-phase end-Triassic mass extinction. *Earth-Science Reviews*. 2020. V. 208. P. 103282.
67. Williams A., Hurst J.M. Brachiopod evolution. *Developments in Palaeontology and Stratigraphy*. 1977. V. 5. P. 79—121.
68. Zhang C., Ré C., Cafarella M., De Sa C., Ratner A., Shin J., Wang F., Wu S. DeepDive: Declarative knowledge base construction. *Communications of the ACM*. 2017. V. 60. P. 93—102.
69. Zhang Z., Augustin M., Payne J.L. Phanerozoic trends in brachiopod body size from synoptic data. *Paleobiology*. 2015. V. 41. P. 491—501.

## REFERENCES

1. Alekseev A.S. Typization of Phanerozoic events of mass extinctions of organisms массового вымирания организмов. *Herald of the Moscow University. Series 4: Geology*. 2000. No. 5. P. 6—14 (In Russian).
2. Afanas'eva G.A. Diversity and distribution of brachiopods of the order Chonetida in the Carboniferous. *Paleontological Journal*. 2022. No. 5. P. 19—28 (In Russian).
3. Barash M.S. Causes of the great mass extinction of marine organisms in the Late Devonian. *Oceanology*. 2016. No. 6. P. 946—958 (In Russian).
4. Grunt T.A. Taxonomy and the main directions of development of articulate brachiopods of the order Athyridida. *Scientific Notes of the Kazan University. Natural Sciences*. 2010. V. 152. Is. 4. P. 123—134 (In Russian).
5. Kochergin D.V., Granovskaya N.V. Signs of the catastrophic cosmic event at the boundary of Cretaceous and Paleogene deposits of the North-Western Caucasus. *Grozny natural science bulletin*. 2024. No. 1. P. 42—48 (In Russian).
6. Kuznetsov V.G., Zhuravleva L.M. Reef formation in the epochs of mass extinctions: boundary of Frasnian — Famennian and Devonian — Carboniferous. *Reports of Academy of Sciences*. 2018. No. 4. P. 410—413 (In Russian).
7. Algeo T.J., Shen J. Theory and classification of mass extinction causation. *National Science Review*. 2024. V. 11. P. nwad237.
8. Alvarez L.W., Alvarez W., Asaro F., Michel H.V. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*. 1980. V. 208. P. 1095—1108.
9. Baarli B.G., Huang B., Johnson M.E. The deep-water, high-diversity Edgewood-Cathay brachiopod Fauna and its Hirnantian counterpart. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 2024. V. 642. P. 112153.
10. Baeza-Carratalá J.F., García Joral F. The last representatives of the Superfamily Wellerelloidea (Brachiopoda, Rhynchonellida) in the westernmost Tethys (Iberian paleomargins) prior to their demise in the early Toarcian Mass Extinction Event. *Journal of Paleontology*. 2022. V. 96. P. 991—1023.
11. Bailey R. Mass extinctions and their causes. *Geology Today*. 2024. V. 40. P. 21—28.
12. Benton M.J., Twitchett R.J. How to kill (almost) all life: The end-Permian extinction event. *Trends in Ecology and Evolution*. 2003. V. 18. P. 358—365.
13. Bond A.D., Dickson A.J., Ruhl M., Bos R., van de Schootbrugge B. Globally limited but severe shallow-shelf euxinia during the end-Triassic extinction. *Nature Geoscience*. 2023. V. 16. P. 1181—1187.
14. Brisson S.K., Pier J.Q., Beard J.A., Fernandes A.M., Bush A.M. Niche conservatism and ecological change during the Late Devonian mass extinction. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2023. V. 290. P. 20222524.
15. Carlson S.J. The Evolution of Brachiopoda. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2016. V. 44. P. 409—438.
16. Chen Z.-Q., Kaiho K., George A.D. Survival strategies of brachiopod faunas from the end-Permian mass extinction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2005. V. 224. P. 232—269.
17. Copper P. Evaluating the Frasnian-Famennian mass extinction: comparing brachiopod faunas. *Acta Palaeontologica Polonica*. 1998. V. 43. P. 137—154.
18. Curry G.B., Brunton C.H.C. Stratigraphic distribution of brachiopods. *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part H. Brachiopoda. Revised. Vol. 6*. Boulder: GSA, 2007. P. 2901—3081.
19. Darroch S.A.F., Wagner P.J. Response of beta diversity to pulses of Ordovician-Silurian mass extinction. *Ecology*. 2015. V. 96. P. 532—549.
20. De Vleeschouwer D., Da Silva A.-C., Sinnesael M., Chen D., Day J.E., Whalen M.T., Guo Z., Claeys P. Timing and pacing of the Late Devonian mass extinction event regulated by eccentricity and obliquity. *Nature Communications*. 2017. V. 8. P. 2268.
21. Deng S., Lu Y., Xu D. Progress and review of the studies on the end-Triassic mass extinction event. *Science in China, Series D: Earth Sciences*. 2005. V. 48. P. 2049—2060.
22. Eldredge N. Revisiting Clarence King's "Catastrophism and Evolution" (1877). *Biological Theory*. 2019. V. 14. P. 247—253.
23. Finnegan S., Rasmussen C.M.Ø., Harper D.A.T. Identifying the most surprising victims of mass extinction events: An example using Late Ordovician brachiopods. *Biology Letters*. 2017. V. 13. P. 20170400.
24. Gradstein F.M., Ogg J.G., Schmitz M., Ogg G. (Editors). *Geologic Time Scale 2020*. Amsterdam: Elsevier, 2020. 1390 p.
25. Grasby S.E., Ardakani O.H., Liu X., Bond D.P.G., Wignall P.B., Strachan L.J. Marine snowstorm during

- the Permian-Triassic mass extinction. *Geology*. 2024. V. 52. P. 120—124.
26. Harper D.A.T. Late Ordovician Mass Extinction: Earth, fire and ice. *National Science Review*. 2024. V. 11. P. nwad319.
  27. Harper D.A.T., Drachen A. The Orthida: The rise and fall of a great Palaeozoic brachiopod clade. *Special Papers in Palaeontology*. 2010. V. 84. P. 107—117.
  28. He W.-H., Shi G.R., Twitchett R.J., Zhang Y., Song H.-J., Yue M.-L., Wu S.-B., Wu H.-T., Yang T.-L., Xiao Y.-F. Late Permian marine ecosystem collapse began in deeper waters: Evidence from brachiopod diversity and body size changes. *Geobiology*. 2015. V. 13. P. 123—138.
  29. House M.R. Strength, timing, setting and cause of mid-Palaeozoic extinctions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2002. V. 181. P. 5—25.
  30. Huang B., Rong J., Cocks L.R.M. Global palaeobiogeographical patterns in brachiopods from survival to recovery after the end-Ordovician mass extinction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2012. V. 317—318. P. 196—205.
  31. Jablonski D., Raup D.M. Selectivity of end-Cretaceous marine bivalve extinctions. *Science*. 1995. V. 268. P. 389—391.
  32. Jain S. *Fundamentals of Invertebrate Palaeontology. Macrofossils*. New Delhi: Springer, 2016. 405 p.
  33. Johansen M.B. Background extinction and mass extinction of the brachiopods from the chalk of northwest Europe. *Palaios*. 1989. V. 4. P. 243—250.
  34. Jones R.W. *Applied Palaeontology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 434 p.
  35. Kaiho K. Relationship between extinction magnitude and climate change during major marine and terrestrial animal crises. *Biogeosciences*. 2022. V. 19. P. 3369—3380.
  36. Liang Y., Strotz L.C., Topper T.P., Holmer E.L., Budd G.E., Chen Y., Fang Y., Hu Y., Zhang Z. Evolutionary contingency in lingulid brachiopods across mass extinctions. *Current Biology*. 2023. V. 33. P. 1565—1572.
  37. Lowery C.M., Bralower T.J., Owens J.D., Rodriguez-Tovar F.J., Jones H., Smit J., Whalen M.T., Claeys P., Farley K., Gulick S.P.S., Morgan J.V., Green S., Chenot E., Christeson G.L., Cockell C.S., Coolen M.J.L., Ferriere L., Gebhardt C., Goto K., Kring D.A., Lofi J., Ocampo-Torres R., Perez-Cruz L., Pickersgill A.E., Poelchau M.H., Rae A.S.P., Rasmussen C., Rebolledo-Vieyra M., Riller U., Sato H., Tikoo S.M., Tomioka N., Urrutia-Fucugauchi J., Vellekoop J., Wittman A., Xiao L., Yamaguchi K.E., Zylberman W. Rapid recovery of life at ground zero of the end-Cretaceous mass extinction. *Nature*. 2018. V. 558. P. 288—291.
  38. Macleod N., Rawson P.F., Forey P.L., Banner F.T., Boudagher-Fadel M.K., Bown P.R., Burnett J.A., Chambers P., Culver S., Evans S.E., Jeffrey C., Kaminski M.A., Lord A.R., Milner A.C., Milner A.R., Morris N., Owen E., Rosen B.R., Smith A.B., Taylor P.D., Urquhart E., Young J.R. The Cretaceous-Tertiary biotic transition. *Journal of the Geological Society*. 1997. V. 154. P. 265—292.
  39. McGhee G.R., Clapham M.E., Sheehan P.M., Bottjer D.J., Droser M.L. A new ecological-severity ranking of major Phanerozoic biodiversity crises. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2013. V. 370. P. 260—270.
  40. Padian K. Measuring and comparing extinction events: Reconsidering diversity crises and concepts. *Integrative and Comparative Biology*. 2018. V. 58. P. 1191—1203.
  41. Pálffy J., Mortensen J.K., Carter E.S., Smith P.L., Friedman R.M., Tipper H.W. Timing the end-Triassic mass extinction: First on land, then in the sea?. *Geology*. 2000. V. 28. P. 39—42.
  42. Paleobiology Database, 2024. URL: <https://paleobiodb.org/> (Accessed: 24.04.2024).
  43. Payne J.L., Clapham M.E. End-Permian mass extinction in the oceans: An ancient analog for the twenty-first century?.. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2012. V. 40. P. 89—111.
  44. Penny A., Kröger B. Impacts of spatial and environmental differentiation on early Palaeozoic marine biodiversity. *Nature Ecology and Evolution*. 2019. V. 3. P. 1655—1660.
  45. Peters S.E., Zhang C., Livny M., Ré C. A machine reading system for assembling synthetic paleontological databases. *PLoS ONE*. 2014. V. 9. P. e113523.
  46. Posenato R. The end-Permian mass extinction (EPME) and the early triassic biotic recovery in the western Dolomites (Italy): state of the art. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*. 2019. V. 58. P. 11—34.
  47. Powell M.G. Timing and selectivity of the Late Mississippian mass extinction of brachiopod genera from the Central Appalachian Basin. *Palaios*. 2008. V. 23. P. 525—534.
  48. Qiao L., Qie W. Palaeobiogeographic dynamics of brachiopod faunas during the Frasnian-Famennian biotic crisis in South China. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*. 2019. V. 99. P. 91—99.
  49. Racki G. A volcanic scenario for the Frasnian-Famennian major biotic crisis and other Late Devonian global changes: More answers than questions? *Global and Planetary Change*. 2020. V. 189. P. 103174.
  50. Rampino M.R., Caldeira K., Rodriguez S. Sixteen mass extinctions of the past 541 My correlated with 15 pulses of Large Igneous Province (LIP) volcanism and the 4 largest extraterrestrial impacts. *Global and Planetary Change*. 2024. V. 234. P. 104369.
  51. Raup D.M., Sepkoski J.J. Mass extinctions in the marine fossil record. *Science*. 1982. V. 215. P. 1501—1503.
  52. Rong J.-Y., Shen S.-Z. Comparative analysis of the end-Permian and end-Ordovician brachiopod mass extinctions and survivals in South China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2002. V. 188. P. 25—38.
  53. Rong J., Harper D.A.T., Huang B., Li R., Zhang X., Chen D. The latest Ordovician Hirnantian brachiopod faunas: New global insights. *Earth-Science Reviews*. 2020. V. 208. P. 103280.
  54. Ruban D.A. A review of the Late Triassic conodont conundrum: survival beyond biotic perturbations. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*. 2022. V. 102. P. 373—382.

55. Sandberg C.A., Morrow J.R., Ziegler W. Late Devonian sea-level changes, catastrophic events, and mass extinctions. *Special Paper of the Geological Society of America*. 2002. V. 356. P. 473—487.
56. Schoepfer S.D., Shen J., Sano H., Algeo T.J. Onset of environmental disturbances in the Panthalassic Ocean over one million years prior to the Triassic-Jurassic boundary mass extinction. *Earth-Science Reviews*. 2002. V. 224. P. 103870.
57. Schröder A.E., Surlyk F. Adaptive brachiopod morphologies in four key environments of the Late Cretaceous–Danian Chalk Sea of northern Europe: A comparative study. *Cretaceous Research*. 2020. V. 107. P. 104288.
58. Sepkoski J.J. A compendium of fossil marine animal genera. *Bulletins of American Paleontology*. 2002. V. 363. P. 1—560.
59. Serra F., Balseiro D., Monnet C., Randolfe E., Bignon A., Rustan J.J., Bault V., Munoz D.F., Vaccari N.E., Martinetto M., Crônier C., Waisfeld B.G. A dynamic and collaborative database for morphogeometric information of trilobites. *Scientific Data*. 2023. V. 10. P. 841.
60. Sheehan P.M. The late Ordovician mass-extinction. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2001. V. 29. P. 331—364.
61. Shen S-Z., Shi G.R. Paleobiogeographical extinction patterns of Permian brachiopods in the Asian-western Pacific region. *Paleobiology*. 2002. V. 28. P. 449—463.
62. Surlyk F., Johansen M.B. End-Cretaceous brachiopod extinctions in the Chalk of Denmark. *Science*. 1984. V. 223. P. 1177—1179.
63. Tomašových A., Siblík M. Evaluating compositional turnover of brachiopod communities during the end-Triassic mass extinction (Northern Calcareous Alps): Removal of dominant groups, recovery and community reassembly. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2007. V. 244. P. 170—200.
64. Vörös A., Kocsis Á.T., Pálfi J. Mass extinctions and clade extinctions in the history of brachiopods: Brief review and a post-Paleozoic case study. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*. 2019. V. 125. P. 711—724.
65. Wang G., Zhan R., Percival I.G. The end-Ordovician mass extinction: A single-pulse event?. *Earth-Science Reviews*. 2019. V. 192. P. 15—33.
66. Wignall P.B., Atkinson J.W. A two-phase end-Triassic mass extinction. *Earth-Science Reviews*. 2020. V. 208. P. 103282.
67. Williams A., Hurst J.M. Brachiopod evolution. *Developments in Palaeontology and Stratigraphy*. 1977. V. 5. P. 79—121.
68. Zhang C., Ré C., Cafarella M., De Sa C., Ratner A., Shin J., Wang F., Wu S. DeepDive: Declarative knowledge base construction. *Communications of the ACM*. 2017. V. 60. P. 93—102.
69. Zhang Z., Augustin M., Payne J.L. Phanerozoic trends in brachiopod body size from synoptic data. *Paleobiology*. 2015. V. 41. P. 491—501.

### ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Рубан Д.А. — разработал концепцию статьи, проанализировал палеонтологическую информацию, интерпретировал полученные результаты, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Dmitry A. Ruban — developed the article concept, analyzed paleontological information, interpreted results, prepared the article text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Рубан Дмитрий Александрович** — Philosophiae Doctor (Университет Претории, ЮАР), кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент Южного федерального университета.  
43, ул. 23-я линия, г. Ростов-на-Дону 344019, Россия  
e-mail: [ruban-d@mail.ru](mailto:ruban-d@mail.ru)  
тел.: +7 (903) 463-43-44  
SPIN-код: 5671-0800  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2847-645X>

**Dmitry A. Ruban** — PhD (University of Pretoria, South Africa), Cand. Sci. (Geol.-Min.), Docent, Assoc. Prof. at the Southern Federal University.  
43, 23-ya Linija Street, Rostov-on-Don 344019, Russia  
e-mail: [ruban-d@mail.ru](mailto:ruban-d@mail.ru)  
tel.: +7 (903) 463-43-44  
SPIN-code: 5671-0800  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2847-645X>

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ / SHORT COMMUNICATIONS ARTICLE

УДК 551.73/.78

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-111-117>EDN: [UVKTGV](#)

# ВЛИЯНИЕ АФРИКАНСКОГО СУПЕРПЛЮМА НА УСЛОВИЯ ГЕНЕРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ В РИФТОГЕННЫХ БАСЕЙНАХ ПОЗДНЕГО ФАНЕРОЗОЯ

**В.М. УСОВА**

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»  
6, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117198, Россия

**АННОТАЦИЯ**

**Введение.** Показано, что нефтегазовая специализация бассейнов рифтового происхождения Африки изменяется от исключительно или преимущественно газовой до нефтегазовой и нефтяной по мере их «омоложения» и отдаления от Южного и Западного центров Африканского суперплюма. Обосновывается модель, предусматривающая изменение условия генераций углеводородов в пери- и внутриконтинентальных рифтогенных бассейнах в связи с охлаждением астеносферных рифтообразующих потоков при их удалении от «горячих» плюмовых центров.

**Цель.** Определение региональной геологической закономерности нефтегазовой специализации рифтогенных бассейнов и ее вероятной природы.

**Материалы и методы.** Исследование проводилось путем сравнительного анализа опубликованных данных по геологии и нефтегазоносности бассейнов рифтового происхождения (внутри- и периконтинентальных) с привлечением данных сейсмотомографии, отражающих температурное состояние глубоких недр Африки и прилегающих к ней области океанов.

**Результаты.** Показано, что нефтегазовая специализация рифтогенных бассейнов коррелирует с их возрастом, тектоническим развитием и положением в современной структуре Африки, а также удаленностью от Южного и Западного центров рождения Африканского суперплюма.

**Заключение.** Обосновывается большое значение суперплюма в определении нефтегазовой специализации бассейнов.

**Ключевые слова:** Африка, рифтогенные бассейны, синрифтовый и пострифтовый магматизм, генерация углеводородов, нефтегазовая специализация, Африканский суперплюм

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Усова В.М. Влияние Африканского суперплюма на условия генерации углеводородов в рифтогенных бассейнах позднего фанерозоя. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(2):111—117. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-111-117> EDN: [UVKTGV](#)

Статья поступила в редакцию 16.07.2024

Принята к публикации 05.05.2025

Опубликована 30.06.2025

# INFLUENCE OF THE AFRICAN SUPERPLUME ON HYDROCARBON GENERATION CONDITIONS IN RIFT-TYPE BASINS OF THE LATE PHANEROZOIC

VALENTINA M. USOVA

*Peoples' Friendship University of Russia  
6, str. Miklukho-Maklaya, Moscow 117198, Russia*

## ABSTRACT

**Background.** African rift basins area characterized by changes from exclusively or predominantly gas to oil specialization, depending on the age of the deposits and moving away from the Southern and Western centers of the African superplume. A model accounting for changes in the conditions of hydrocarbon generation in peri- and intracontinental rift basins due to the cooling of asthenospheric rift-forming flows, upon their moving away from the hot plume centers, is proposed.

**Aim.** To determine regional geological patterns of the oil and gas specialization of rift basins and their probable nature.

**Materials and methods.** The study involved a comparative analysis of published data on the geology and oil and gas potential of rift basins (intra- and pericontinental) using seismic tomography data on the temperature state of the deep subsoil of Africa and the adjacent ocean areas.

**Results.** The oil and gas specialization of rift basins was shown to correlate with their age, tectonic development, and position in the modern structure of Africa, as well as with the distance from the Southern and Western centers of the African superplume.

**Conclusion.** The significant importance of the superplume in determining the oil and gas specialization of basins is substantiated.

**Keywords:** Africa, rift basins, syn-rift and post-rift magmatism, hydrocarbon generation, oil and gas specialization, African superplume.

**Conflict of interests:** the authors declare that there is no conflicts of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Usova V.M. The influence of the african superplume on the conditions of hydrocarbon generation in rift basins of the late phanerozoic. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(2):111—117. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-111-117> EDN: [UVKTV](https://www.edn.ru/uvktgv)

*Manuscript received 16 July 2024*

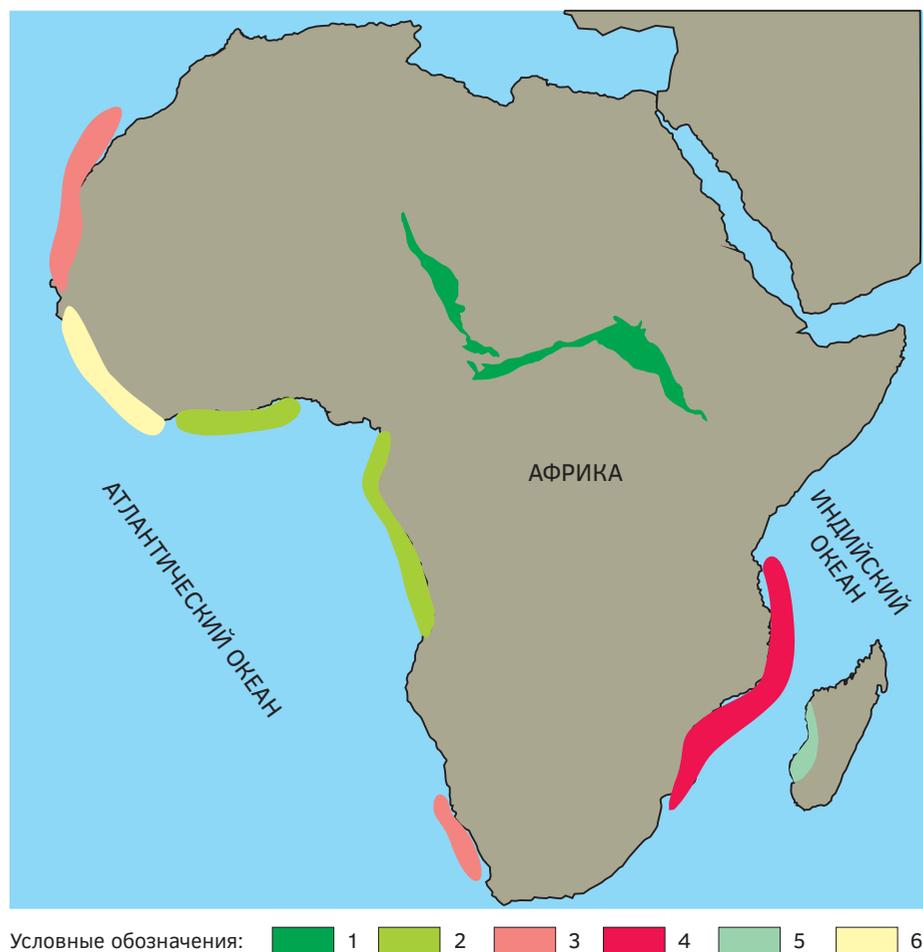
*Accepted 05 May 2025*

*Published 30 June 2025*

В материковой части Африки и на ее окраинах, главным образом офшорных, расположены осадочные бассейны позднего фанерозоя рифтового происхождения, испытавшие существенно разное развитие. В Южной, Центральной и отчасти Северной Африке находятся бассейны так называемого «незавершенного» развития, т.е. сохранившие свое изначально внутриматериковое положение. К другому тектонотипу относятся бассейны, прогибание которых происходило в начале при внутриматериковом рифтовом развитии, а затем на пассивных окраинах при синокеаническом удалении периферийных материков Гондваны от Африки. По этой

причине разрезы бассейнов данного тектонотипа состоят из примерно равных по мощности нижних преимущественно континентальных и верхних исключительно морских осадочных комплексов.

Большинство рифтогенных бассейнов являются нефтегазоносными с различным соотношением промышленных месторождений нефти и газа (рис. 1). Согласно расчетам в периконтинентальных бассейнах в этом отношении главное значение имеют нефтегазовые системы верхних, морских комплексов [4]. В настоящей статье рассматриваются возможные причины нефтегазовой специализации рифтогенных бассейнов.



**Рис. 1.** Расположение рифтогенных бассейнов с различной нефтегазовой специализацией [1]: 1 — рифтовые внутриконтинентальные бассейны — почти исключительно нефтеносные; 2–5 — эпирифтовые периконтинентальные бассейны: 2 — преимущественно нефтеносные, 3 — преимущественно газоносные, 4 — почти исключительно газоносные, 5 — бассейны Морондава с термально разрушенными месторождениями нефти, 6 — Гвинейско-Либерийский бассейн с неопределенной нефтегазовой специализацией

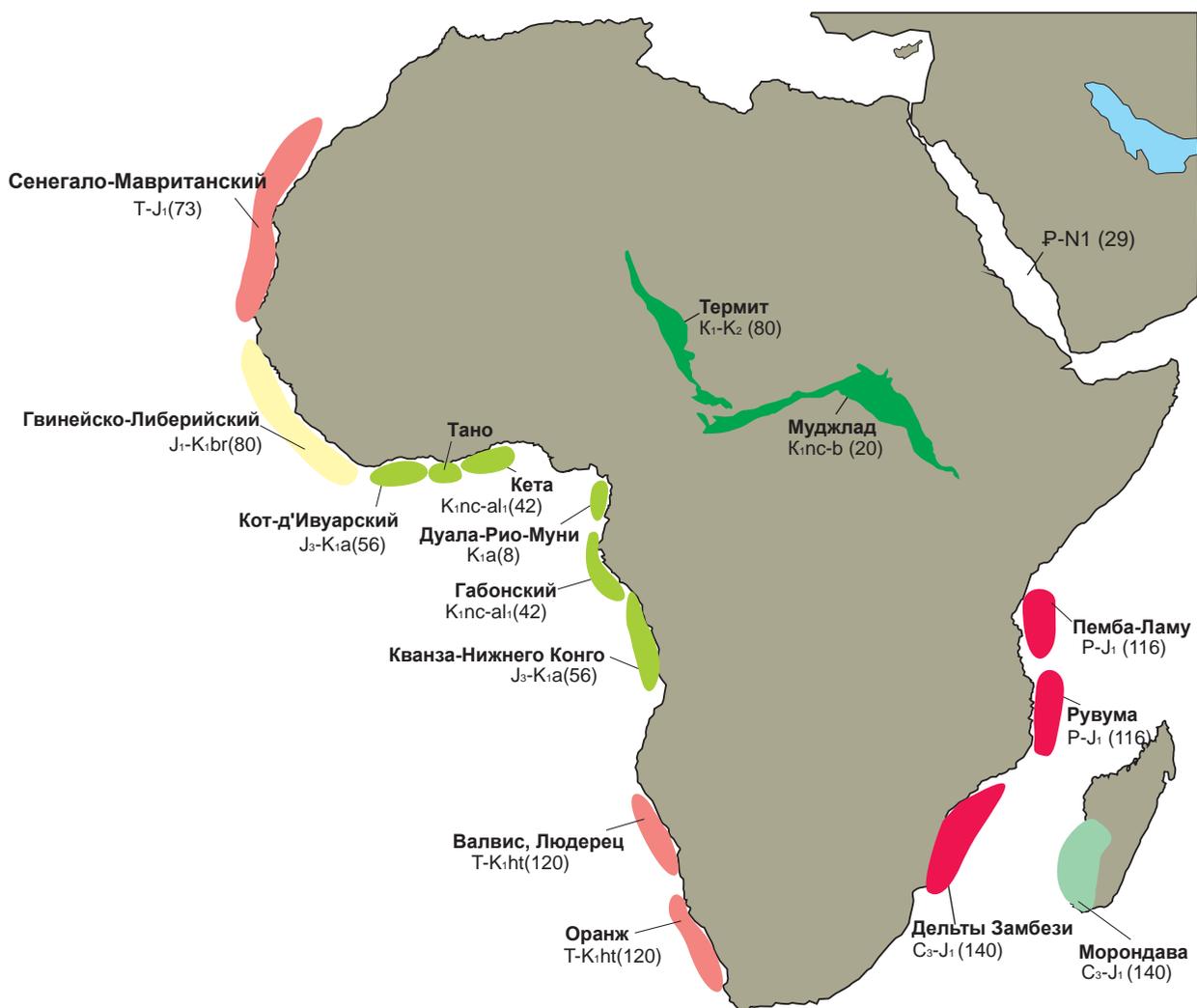
**Fig. 1.** Location of rift basins with different oil and gas specialization: 1 — rift intracontinental basins — almost exclusively oil-bearing; 2–5 — epirift pericontinental basins: 2 — mainly oil-bearing, 3 — mainly gas-bearing, 4 — almost exclusively gas-bearing, 5 — Morondava basins with thermally destroyed oil fields, 6 — Guinea-Liberia basin with uncertain oil and gas specialization

Как показано на рисунке 1, главное различие в нефтегазовой специализации бассейнов заключается в наличии в периконтинентальных бассейнах в том или ином количестве месторождений газа и почти исключительно нефтеносности бассейнов Центральной Африки. Причиной этой закономерности могла являться большая «энергоемкость» глубинных систем рифтовых бассейнов завершеного развития, обусловившая разрушение древнего суперматерика, раскрытие океанов, и сохранившаяся в той или иной степени во время расширения последних.

Вторым по значению в региональной нефтегазовой геологии является смена исключительно

или преимущественно газовой к доминирующей нефтяной специализации периконтинентальных бассейнов по мере уменьшения их «рифтового возраста» (рис. 2). Это обстоятельство требует более углубленного рассмотрения, поскольку генерация углеводородов в этих бассейнах была обусловлена главным образом комплексами их синокеанических отложений.

Показано, что образование кайнозойских рифтов Восточной Африки, Афарской депрессии связано с южным центром Африканского суперплюма [5]. Имеются все основания считать, что «омоложение» рифтогенных бассейнов с юга Африки до ее центральной части также



**Рис. 2.** Расположение рифтогенных нефтегазоносных бассейнов Африки (стратиграфические и возрастные интервалы их рифтовых комплексов) [4]

**Fig. 2.** Location of riftogenic oil and gas basins in Africa stratigraphic and age ranges of their rift complexes

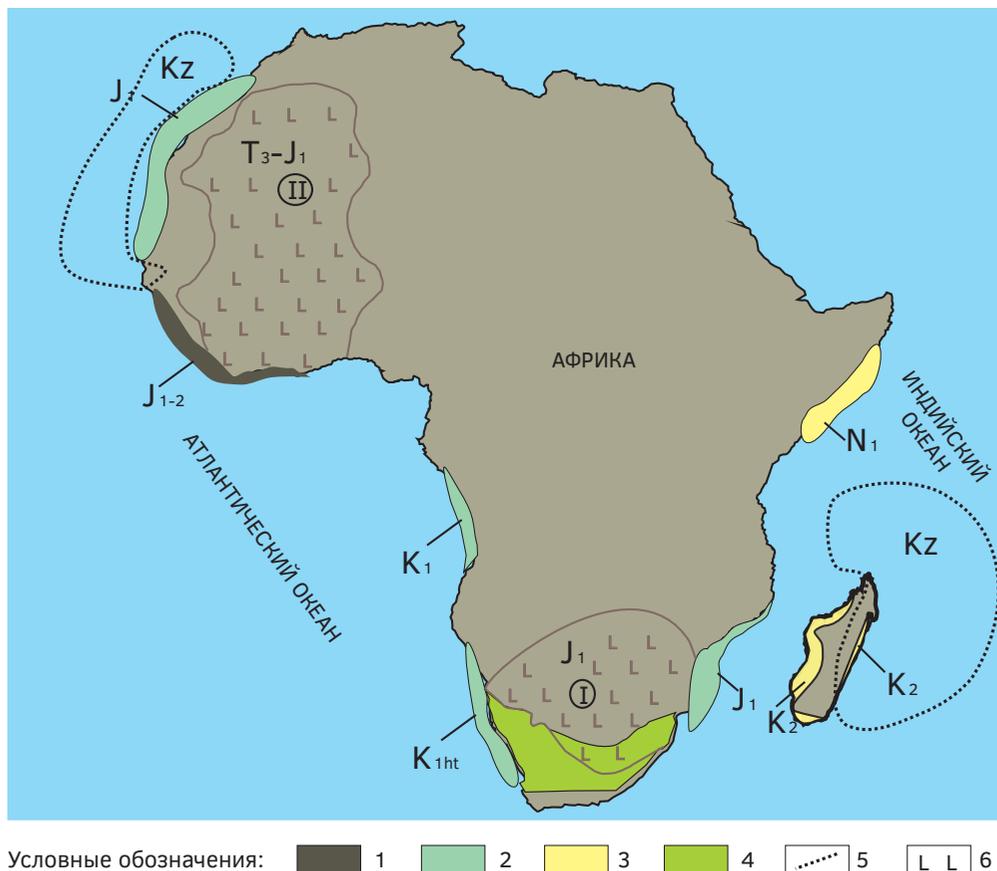
явилось результатом смещения от этого центра к северу плюмовых потоков или разогретой ими астеносферы. С таким предположением согласуется наличие лишь в бассейнах раннего рифтового заложения, расположенных вблизи южного плюмового центра, проявлений экстенсивного ранне- или поздне-рифтового базальтоидного магматизма (рис. 3).

Второй центр Африканского суперплюма предполагается на западе Африки [7]. Именно от него другая ветвь рифтогенеза продвигалась к востоку, в ее Центральную область (рис. 2). Здесь ранне-рифтовый магматизм проявился в ранней юре в финальной стадии рифтового развития Мавритано-Сенегальского бассейна и раннюю стадию рифтового развития Гвинейско-Либерийского бассейна,

наиболее приближенных к плюмовому центру. Следует иметь в виду, что все эти «африканские события» происходили в пределах Гондваны, соответственно, в ее восточном и западном сегментах.

Размещение внутригондванских магматических и амагматических рифтов позднего фанерозоя указывает на охлаждение рифтообразующих подлитосферных мантийных потоков с удалением от плюмовых центров. Именно это, по всей видимости, определило нефтяную (т.е. «низкотемпературную») специализацию меловых рифтов Центральной Африки, находившихся на максимальном расстоянии от этих центров.

Судя по положению районов проявления магматизма на пассивных окраинах вблизи от плюмовых центров, а также по данным сейсмотомографии,



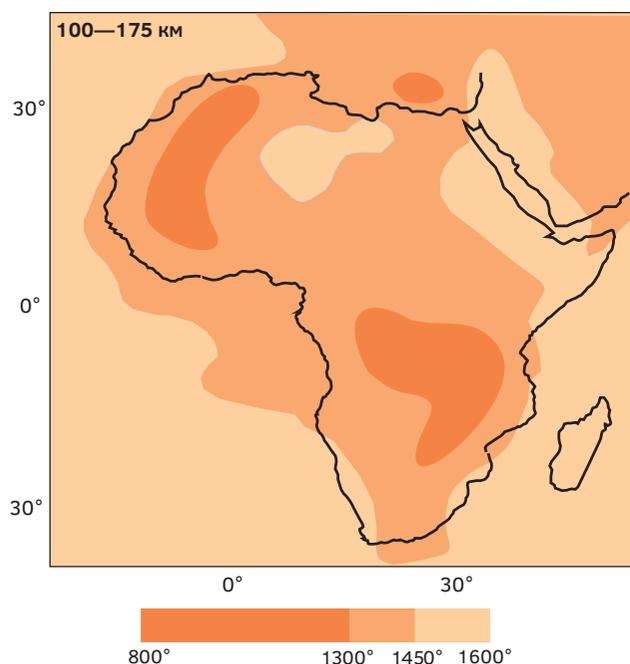
**Рис. 3.** Пространственное соотношение магматических рифтов, пассивных окраин, областей островного магматизма и районов высокой гидротермальной активности с южными и западными центрами Африканского суперплюма (стратиграфические индексы на севере отражают возраст рифтового и пострифтового магматизма): 1—3 — периконтинентальные бассейны с проявлениями синрифтового базальтоидного магматизма: 1 — раннерифтового, 2 — позднерифтового, 3 — послерифтового; 4 — область широкого распространения гидротерм; 5 — границы областей проявления кайнозойского магматизма «горячих точек» преимущественно островного и на Мадагаскаре, 6 — центры рождения Африканского суперплюма с проявлениями траппового магматизма раннего триаса — поздней юры. I—II — центры рождения Африканского суперплюма: I — Южный, II — Западный

**Fig. 3.** Spatial correlation of magmatic rifts, passive margins, areas of insular magmatism and areas of high hydrothermal activity with the southern and western centers of the African superplume

подобная ситуация сохранялась во время синокеанических прогибаний рифтогенных периконтинентальных бассейнов. Так, лишь в бассейнах Морондава Мадагаскара и Дельты Замбези, находившихся вблизи южного плюмового центра в меловое время, произошли крупные излияния базальтов. Только в областях Индийского и Атлантического океанов, прилегающих к обоим плюмовым центрам, расположены системы вулканических островов и четвертичные вулканы Мадагаскара. Следует также отметить многочисленные гидротермальные источники на юге ЮАР, которые почти исчезают к северу к Мозамбику и Намибии. Особого внимания заслуживает

сохраняющаяся повышенная разогретость мантии под периконтинентальными бассейнами по периферии обоих плюмовых центров (рис. 4), что коррелирует с повышенными тепловыми потоками в областях Атлантического и Индийского океанов [3], соседствующих с «горячими» окраинами южной и северо-западной Африки.

Согласно данным сейсмотомографии Африканский суперплюмом распространяется от Западного центра его рождения через Атлантический океан до восточной окраины Северной Америки [2]. Это обстоятельство позволяет полагать, что сопряженность сходных по тепловому состоянию недр пассивных окраин



**Рис. 4.** Температура верхней мантии Африки на глубине 180 км (по [6] с упрощениями)  
**Fig. 4.** Temperature of the upper mantle of Africa at a depth of 180 km (based on [6] with simplifications)

Африки и близлежащих к ним областей океанов явилось результатом растекания из-под континента океанообразующих астеносферно-плюмовых потоков.

В предлагаемой нами плюмовой модели нефтегазообразования не находит пока объяснения закономерность размещения в офшорных рифтогенных бассейнах, разноудаленных от плюмовых центров, месторождений нефти и газа. Эта закономерность заключается в том, что бассейны, приближенные к этим центрам (Мавритано-Сенегальскому, Кот-д'Ивуара, Оранж) месторождения газа и нефти, выявлены, соответственно, на меньшем и большем удалении от материков. При «возвращении» Мадагаскара к Африке таким же образом располагаются газовые месторождения периконтинентальных бассейнов Мозамбика, Танзании и излившееся гигантское нефтяное месторождение Бомелунга бассейна

Морондава Западного Мадагаскара. Противоположным образом размещаются месторождения газа и нефти, в бассейнах Нижнего Конго, «безрифтового» Дельты Нигера, находящиеся на значительно большем удалении от плюмовых центров.

Можно предполагать, что данная закономерность обусловлена неравномерным воздействием различно разогретых астеносферно-плюмовых потоков на различно утоненную литосферу пассивных рифтовых материковых окраин, находящихся на разном удалении от плюмовых центров.

Согласно наиболее распространенному представлению прогибание пассивных окраин континентов происходило в результате охлаждения их литосферы, разогретой во время ее синрифтового растяжения. Однако такая модель «температурной релаксации» не объясняет отсутствие корреляции между глубиной и скоростью прогибания периконтинентальных бассейнов с длительностью их рифтового развития, а значит и временем нагревания корово-мантийных комплексов. В частности, отметим, что максимальные глубины периконтинентальных прогибаний около 5—6 км свойственны для бассейнов Рувума Танзании и Риа Муни Экваториальной Гвинеи, испытавших совершенно разное по длительности рифтовое развитие (соответственно, около 116 и 8 млн лет). Следует также отметить, что самый молодой в «Дуге Гвинейского залива» бассейн Дельты Нигера с максимальной глубиной до 10 км и с той же нефтегазовой специализацией, что и соседние с ним периконтинентальные бассейны, начал прогибание в альбе без предварительной рифтовой «подготовки».

#### Заключение

Приведенные факты и аргументы дают основание считать, что температурные условия генерации углеводородов в рифтогенных осадочных бассейнах на всех стадиях развития и в итоге их нефтегазовая специализация определялись удаленностью бассейнов от центров рождения Африканского суперплюма.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Моделевский М.С., Моделевский М.М.* Общая оценка нефтегазового потенциала африканского континента. Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 9. С. 1707—1714.
2. *Соколов С.Ю., Добролюбова К.О., Турко Н.Н.* Связь поверхностных геолого-геофизических характеристик с глубинным строением Срединно-Атлантического хребта по данным сейсмической

- томографии. Геотектоника. 2022. Т. 56. С. 107—122.
- Хуторской М.Д. Глубина источников и тепловой режим мантийных плюмов. Мониторинг. Наука и технологии. 2021. № 3(49). С. 20—31. <https://doi.org/10.25714/MNT.2021.49.003>
  - Brownfield M.E., Charpentier R.R. Geology and total petroleum systems of the Gulf of Guinea province of West Africa. U.S. Geological Survey Bulletin. 2006; 2207(C). <https://doi.org/10.3133/b2207C>
  - Kendall J-M., Pilidou S., Keir D., Bastow I.D. Mantle upwellings, melt migration and the rifting of Africa: Insights from seismic anisotropy. In: The Afar Volcanic Province Within the East African Rift System. Ed. by G. Yirgu, C.J. Ebinger, P.K.H. Maguire, Geol. Soc. London. UK. 2006. Vol. 259. P. 55—72.
  - Priestley K., McKenzie D., Debayle É., Pilidou S. The African upper mantle and its relationship to tectonics and surface geology. Geophysical Journal International. 2008;175:1108—1126. <https://doi.org/10.1111/J.1365-246X.2008.03951.X>
  - Wilson M., Guiraud R., Morean C., Bellon Y.Y-C. Late Permian to Recent magmatic activity on the African-Arabian margin of Thethys. In: Petroleum Geology of North Africa. Geol. Soc. London. Spec. Publ. 1998. Is. 132. P. 231—263.

## REFERENCES

- Modelevsky M.S., Modelevsky M.M. General assessment of the oil and gas potential of the African continent. Geology and Geophysics. 2016. Vol. 57, no. 9. P. 1707—1714 (In Russ.).
- Sokolov S.Yu., Dobrolyubova K.O., Turko N.N. Relationship of surface geological and geophysical characteristics with the deep structure of the Mid-Atlantic Ridge according to seismic tomography data. Geotectonics. 2022. Vol. 56. P. 107—122 (In Russ.).
- Khutorskoy M.D. Depth of sources and thermal regime of mantle plumes // Monitoring. Science and Technology. 2021. No. 3(49). P. 20—31 (In Russ.). <https://doi.org/10.25714/MNT.2021.49.003>
- Brownfield M.E., Charpentier R.R. Geology and total petroleum systems of the Gulf of Guinea province of West Africa. U.S. Geological Survey Bulletin. 2006; 2207(C). <https://doi.org/10.3133/b2207C>
- Kendall J-M., Pilidou S., Keir D., Bastow I.D. Mantle upwellings, melt migration and the rifting of Africa: Insights from seismic anisotropy. In: The Afar Volcanic Province Within the East African Rift System. Ed. by G. Yirgu, C.J. Ebinger, P.K.H. Maguire, Geol. Soc. London. UK. 2006. Vol. 259. P. 55—72.
- Priestley K., McKenzie D., Debayle É., Pilidou S. The African upper mantle and its relationship to tectonics and surface geology. Geophysical Journal International. 2008;175:1108—1126. <https://doi.org/10.1111/J.1365-246X.2008.03951.X>
- Wilson M., Guiraud R., Morean C., Bellon Y.Y-C. Late Permian to Recent magmatic activity on the African-Arabian margin of Thethys. In: Petroleum Geology of North Africa. Geol. Soc. London. Spec. Publ. 1998. Is. 132. P. 231—263.

## ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Усова В.М. — разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Valentina M. Usova — developed the article concept, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Усова Валентина Михайловна** — старший преподаватель департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы».

6, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117198, Россия

e-mail: [usova-vm@rudn.ru](mailto:usova-vm@rudn.ru)

SPIN-код: 1276-3570

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0023-5913>

Scopus ID: 57205576129

**Valentina M. Usova** — senior lecturer, Department of Geology, Mineral Development and Oil & Gas Engineering, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University).

6, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117198, Russia

e-mail: [usova-vm@rudn.ru](mailto:usova-vm@rudn.ru)

SPIN-code: 1276-3570

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0023-5913>

Scopus ID: 57205576129



# ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ РИСКОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ВЯЗЕМСКОГО РАЙОНА СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

С.П. ЯКУЦЕНИ

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Вяземский район совершенно уникален в рамках не только Смоленской области, но и всего русского государства на протяжении всей нашей истории.

**Цель.** Исследование Вяземского района Смоленской области с целью определения и оценки геоэкологических рисков.

**Материалы и методы.** Проведены полевые исследования и выполнен детальный камеральный анализ процессов и явлений, формирующих геоэкологические риски территории.

**Результаты.** Разработана методология оценки геоэкологических рисков. Представлены формализованные группы событий и явлений, формирующих геоэкологические риски. Выполнена оценка геоэкологического состояния Вяземского района Смоленской области. Дана геоэкологическая оценка значимых гидрографических объектов территории. Выполнена демографическая и социальная характеристика постоянных жителей Вяземского района Смоленской области. Выполнен анализ влияния на окружающую среду и здоровье населения объектов размещения отходов на территории Вяземского района Смоленской области.

**Заключение.** Оскудение кормящих и рекреационных ландшафтов, в том числе связанное с обращением отходов производства и потребления, приводит к социально-политическим рискам. И на территории Вяземского района геоэкологические риски продолжительное время раскачивают социально-политическую стабильность региона. Своевременное понимание и оценка такого рода рисков и принятия мер по их снижению позволит укрепить социально-политическую стабильность региона, избежать рисков техногенных аварий и политических потрясений.

**Ключевые слова:** геоэкология, отходы, гидрография, социально-политические риски, рыночная капитализация, природопользование, природные ресурсы, охрана окружающей среды, устойчивое развитие, Российская Федерация, Вяземский район, Смоленская область, политическая экология

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Якуцени С.П. Оценка геоэкологических и социальных рисков функционирования объектов размещения производственных и твердых коммунальных отходов Вяземского района Смоленской области. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2025;67(2):118—133. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-118-133> EDN: [VSJRPQ](https://www.edn.ru/VSJRPQ)

Статья поступила в редакцию 26.10.2023

Принята к публикации 11.02.2025

Опубликована 30.06.2025

# GEOECOLOGICAL AND SOCIAL RISKS ASSOCIATED WITH INDUSTRIAL AND MUNICIPAL SOLID WASTE DISPOSAL FACILITIES IN VYAZEMSKY DISTRICT OF SMOLENSK OBLAST (RUSSIA)

SERGEY P. YAKUTSENI

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

## ABSTRACT

**Background.** Throughout its history, the Vyazemsky District has been an area of particular importance not only for the Smolensk Oblast, but also for the entire Russian state.

**Aim.** To determine and evaluate geoecological risks in the Vyazemsky District of the Smolensk Oblast (Russia).

**Materials and methods.** Field studies and a detailed desk analysis of the processes and phenomena forming the geoecological risks in the area under study were conducted.

**Results.** A methodology for assessing geoecological risks was developed. Groups of events and phenomena forming geoecological risks were classified. The geoecological state of the Vyazemsky District of the Smolensk Oblast was evaluated. A geoecological assessment of significant hydrographic objects in the area under study was carried out. The resident population was described in terms of demographic and social characteristics. The impact of waste disposal facilities on the environment and public health of the region was analyzed.

**Conclusion.** The depletion of feeding and recreational landscapes, associated, inter alia, with the circulation of production and consumption waste, leads to sociopolitical risks. In the Vyazemsky District, geoecological risks have been undermining the sociopolitical stability of the region for a long time. Timely recognition and assessment of such risks and implementation of the respective measures will improve the sociopolitical stability of the region and mitigate the risks of man-made accidents and political upheavals.

**Keywords:** geoecology, waste, hydrography, sociopolitical risks, market capitalization, environmental management, natural resources, environmental protection, sustainable development, Russian Federation, Vyazemsky district, Smolensk region, political ecology

**Conflict of interest:** the author declares no conflict of interests.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Yakutseni S.P. Geoecological and social risks associated with industrial and municipal solid waste disposal facilities in Vyazemsky district of Smolensk oblast (Russia). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(2):118—133. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-118-133> EDN: VSJRPQ

*Manuscript received 26 October 2023*

*Accepted 11 February 2025*

*Published 30 June 2025*

Вяземский район совершенно уникален в рамках не только Смоленской области, но и всего русского государства на протяжении всей нашей истории. Целью работы является оценка геоэкологических рисков функционирования объектов размещения производственных и твердых коммунальных отходов Вяземского района Смоленской области, то есть оценка сохранности как природного, так

и ресурсного потенциала развития этой культурно-исторической и промышленной территории.

Геоэкологические риски в данном случае — это оценка вероятности нарушения функционирования сложившихся природных, техногенных и культурных ландшафтов, характерных для района, при различных видах воздействия, от природных явлений до техногенных: хозяйственная

деятельность, военное столкновение, изменение системы агрохозяйств. Надо учитывать, что работают и обратные риски, когда окружающая природная среда влияет на промышленные объекты, например на АЭС, водообеспечение населения и агрохозяйств, продолжительность жизни людей и увеличение социальных расходов, в первую очередь на здравоохранение. В нашем случае — это оценка рисков негативного изменения вмещающих ландшафтов, связанных с обращением отходов производства и потребления.

Необходимо отметить, что оскудение кормящих и рекреационных ландшафтов, то есть срабатывание геоэкологических рисков, несомненно, приводит к рискам социально-политическим. Яркий пример — революционные события февраля — ноября 1917 года [1]. Гражданскую войну 1917—1922 годов, усугубленную интервенцией бывших союзников, трудно считать «обычной» биосферной войной [1], но в ней, как и во всех гражданских войнах, главным был вопрос о власти. Власть давала, с одной стороны, право распоряжаться ресурсами биосферы, с другой — вынуждала любое правительство иметь дело с надвигающейся экологической катастрофой. Как результат — экологическая катастрофа определилась как важный фактор политики и понудила к ряду решений, улучшающих состояние окружающей среды до конца 1920-х годов.

*Полагаю, что такого пояснения о возможности перехода геоэкологических рисков в социально-политические вполне достаточно. Особенно понимая, что Российская Федерация на своих западных рубежах оказалась в границах XVII века и Смоленская область, включающая Вяземский район, вновь пограничье, от которого до Москвы 230 км.*

### Материалы и методы

Единая методология оценки геоэкологических рисков, несмотря на постоянное упоминание в специализированной литературе, до сих пор не сформирована, а понятие не сформулировано. Тем не менее, учитывая значительный и научно-рецензируемый опыт работы в данном направлении, можно выделить самостоятельные виды рисков, суммарно определяемые под этим понятием: геоэкологические, в том числе сейсмические; геохимические; гидрохимические; эколого-геоморфологические; почво-геохимические.

Геоэкологические риски оцениваются по уровню воздействия на следующие природные системы и виды хозяйственной деятельности: сейсмическая и микросейсмическая активность, включая

зоны влияния разломов разного уровня; растительность, включая лес; степень восстановления природной окружающей среды; уровень загрязненности почв; уровень загрязненности атмосферного воздуха; уровень загрязненности поверхностных водоемов; водная растительность и природные акваресурсы; качество подземных водных ресурсов. Кроме того, необходимо оценить, каким позициям несут угрозу геоэкологические риски. Например, здоровью населения; общественному благосостоянию; состоянию среды обитания; финансовые риски; культурно-исторические риски; социально-политические риски.

Таким образом, анализ геоэкологических рисков сводится к следующим позициям: химические риски; эпидемиологические риски; риски нанесения ущерба качеству объектов природопользования (поверхностные и подземные воды; рекреационные территории; пахотные земли; лесные угодья); социально-политические параметры региона. Очевидно, что само исчисление геоэкологических рисков по сумме набранных параметров должно выполняться через такие принятые механизмы расчета, как вероятностный анализ риска; апостериорный анализ риска; качественный анализ риска. Результирующим итогом анализа геоэкологических рисков является анализ априорной и апостериорной опасности при функционировании объектов размещения производственных и твердых коммунальных отходов.

**Априорный анализ.** Выбор нежелательных событий, которые являются потенциально возможными для районной системы оборота, размещения и утилизации или захоронения производственных и твердых коммунальных отходов. Разрабатывается типовой набор сценариев, которые могут привести к появлению и развитию геоэкологических рисков.

**Апостериорный анализ.** Выполняется после того, как геоэкологические риски состоялись, то есть реализовалась аварийная или вне регламентная ситуация. Цель анализа — выработка мероприятий, в дальнейшем уменьшающих и/или предотвращающих такого рода риски.

Оба вида анализа позволяют существенно снизить опасность вне регламентных и аварийных ситуаций. Детальное исследование реализованных геоэкологических рисков прямым методом анализа, исследование причин позволяют предвидеть последствия возможного аварийного события и исключить его. Обратный метод исследует последствия уже случившегося аварийного события и устанавливает его причины. Выполняется расчет

объемов инвестиций для обеспечения работы системы по снижению геоэкологических рисков. Инвестиции сравниваются с потерями от возможных штрафных санкций и мероприятий по рекультивации.

Таким образом, снижение уровня геоэкологических рисков при функционировании объектов размещения производственных и твердых коммунальных отходов достигается через совершенствование технических систем и объектов (желательно создание их цифровых двойников, позволяющих реализовать аппаратно-программное наблюдение в режиме близком к реальному времени); обучение и постоянный контроль при работе персонала; разработку и внедрение типовых сценариев ликвидации последствий аварийных событий. Создаются районные и региональные базы данных и библиотеки технологий. Такой подход позволяет существенно снизить затраты при функционировании системы обращения с отходами, профилируя аварийные ситуации и избегая штрафных и рекультивационных затрат.

И, завершая описание структуры геоэкологических рисков, необходимо привести данные по основной характеристике любого техногенного риска, а именно, сокращению ожидаемой продолжительности жизни, то есть показателю LLE (loss of life expectancy). В таблице 1 приведены показатели, демонстрирующие, на какой срок укорачивается жизнь человека, подвергнувшегося указанному в таблице риску.

#### Характеристика геоэкологического состояния Вяземского района Смоленской области

*Административная характеристика.* Вяземский район — административно-территориальная единица (район) и муниципальное образование (муниципальный район) в восточной части Смоленской области России. Административный центр — город Вязьма. В муниципальный район входят 8 муниципальных образований, в том числе 1 городское поселение и 7 сельских поселений. Административный состав Вяземского района представлен в таблице 2.

**Таблица 1.** Сокращение ожидаемой продолжительности жизни [2]  
**Table 1.** Reduction in life expectancy [2]

Причины риска	LLE, дни
Радон в помещениях	35
Работа с химикалиями	30
Работа с излучением	25
Обеднение озонового слоя	22
Пестициды в пищевых продуктах	12
Загрязнение наружного атмосферного воздуха	10
Загрязнение питьевой воды	1,3
Проживание вблизи АЭС	0,4

**Таблица 2.** Административный состав Вяземского района (Закон Смоленской области от 19 декабря 2019 года № 139-з «Об административно-территориальном устройстве Смоленской области»)

**Table 2.** Administrative composition of the Vyazemsky district (Law of the Smolensk region of December 19, 2019 N 139-z "On the administrative-territorial structure of the Smolensk region")

№	Название	Административный центр	Количество населенных пунктов
1	Вяземское городское поселение	город Вязьма	1
2	Андрейковское городское поселение	село Андрейково	59
3	Вязьма-Брянское городское поселение	село Вязьма-Брянская	5
4	Кайдаковское городское поселение	деревня Кайдаково	44
5	Новосельское городское поселение	деревня Новое село	44
6	Семлёвское городское поселение	село Семлёво	67
7	Степаниковское городское поселение	село Новый	38
8	Тумановское городское поселение	село Туманово	74

*Географическое положение.* Вяземский район Смоленской области расположен в центральной части Восточно-Европейской (Русской) равнины на территории Смоленско-Московской возвышенности. Наивысшая точка всей Смоленско-Московской возвышенности находится именно на его территории близ деревни Марьино — 319 м. Площадь района — 3338 км<sup>2</sup>.

Физико-географическое положение Вяземского района определяет его основные климатические характеристики: умеренно-континентальный климат при существенном влиянии воздушных масс с Атлантики обеспечивает значительное количество осадков, наличие множества малых рек, озер и болот, широкое распространение лесов (47,2% территории) и дерново-подзолистых почв, обладающих невысоким плодородием. Регулярное и постоянное внесение удобрений и хорошая дренированность пашни делают сельское хозяйство Смоленской области, включая Вяземский район, весьма продуктивным как минимум с XI века.

*Гидрография и геоэкологическое состояние рек.* Смоленская область, занимая наиболее возвышенный участок Восточно-Европейской равнины, расположена на водоразделе трех крупнейших рек Восточной Европы: Волги, Днепра и Западной Двины, относящихся к тому же к бассейнам трех морей — Каспийского, Черного и Балтийского. Основные гидрографические объекты Смоленской области приведены в таблице 3. Краткая характеристика основных рек Вяземского района и их геоэкологического

состояния, в том числе по данным собственных полевых работ, приведена ниже.

*Река Днепр.* Крупнейшая европейская река. Занимает четвертое место по протяженности после Волги, Дуная и Урала. От истока до устья в естественном состоянии составляла до постройки каскада водохранилищ 2285 км.

Днепр — самая загрязненная река Смоленской области. На нее приходится более 90% опасных веществ, переносимых иными областными водотоками. С позиции геоэкологических показателей река Днепр на территории Смоленской области делится на три условные зоны по мере нарастания уровня загрязненности и снижения качества речной воды. *Первая.* От истоков, ручей Днепрец, до города Смоленска. Условно чистый водоток. *Вторая.* От города Смоленска до города Дорогобужа. Резко повышается уровень опасных веществ. *Третья.* От города Дорогобужа и далее. Увеличение концентраций опасных веществ в речной воде. Даже простым взглядом, оценивая запах речной воды, ее консистенцию, обнаруживается резкое увеличение мутности воды, массы твердых частиц, остатков бытового мусора, смываемого с городской территории Смоленска. Не успев восстановиться, днепровская вода получает следующий объем постоянного загрязнения с городской территории Дорогобужа. Уникальна ихтиофауна Днепра на территории Смоленской области — 46 видов рыб. За последние полвека река очень обеднела. Жереха, мирону, чехонь, подусту, сомов и стерлядь, со слов профессиональных рыбаков, опрошенных автором, не встречали с 1950-х годов.

**Таблица 3.** Крупнейшие реки Смоленской области («Все реки». Информационный сайт о реках России. <https://vsereki.ru/?ysclid=mamqid9ppu170947598>)

**Table 3.** The largest rivers of the Smolensk region (“All rivers”. Information site about the rivers of Russia. <https://vsereki.ru/?ysclid=mamqid9ppu170947598>)

Название реки	Общая протяженность, км	Протяженность по Смоленской области, км
Вихра	158	118
Вазуза	162	122
Вопь	158	158
Воря	153	148
Вязьма	147	147
Десна	1190	151
Ипуть	437	124
Каспля	157	157
Остер	274	274
Сож	648	218
Угра	399	257

*Река Вязьма*, левый приток Днепра. Протяженность реки — 147 км; бассейн 1350 км<sup>2</sup>. Максимальная ширина установлена напротив поселка Ясная Поляна — затон шириной 160 метров. Наибольшая глубина 2,5 метра. Река проходит через несколько районов Смоленской области. Берега густо покрыты широколиственным лесом и высоким травостоем. Геоэкологические показатели реки Вязьмы весьма впечатляют. Приток реки, речка Улица — фактически канализационная канава. Городские очистные сооружения существуют лишь номинально и не работают.

Нами выделена следующая зональность загрязненности реки Вязьма: *Калыгинское озеро, зона истока, до Нового Села*: природное качество речной воды; *Новое Село — трасса М1, город Вязьма*: увеличение концентрации взвешенных веществ и продуктов сельскохозяйственной химии; *трасса М1, город Вязьма — ул. Панинская*: минимальный показатель количества растворенного кислорода в воде, устойчивый запах канализационных и производственно-бытовых стоков; *ул. Панинская — трасса М1*: ни рыбы, ни растительности, показатель уровня растворенного в воде кислорода в районе контрольного створа (ниже города): 0,07—0,36 мг/л; *трасса М1 — деревня Чёрное*: самоочистка речных вод; *деревня Чёрное — деревня Изъялово*: возвращается естественное качество речной воды; *деревня Изъялово — Холм-Жирковский*: зона замора. Концентрация кислорода в воде менее 2 мг/л. Измерения здесь и в дальнейшем проводились на месте с помощью полевой лаборатории анализа воды НКВ-1.

Содержание солей металлов в воде р. Улица высокое: железа общего 1,3—1,8 ПДК, марганца 4,0—13,3 ПДК, меди — 49 ПДК, цинка — 4,4 ПДК. Загрязнения органическими веществами остаются на уровне прошлых лет: фенолы — 1,5 ПДК, нефтепродукты — 4,0—4,2 ПДК. Гидрохимический облик реки определяют неочищенные сбросовые воды Вяземского кожевенного производства ООО «ВКП-ЛТД», заводов «Программатор», «Графит», локомотивного и вагонного депо. Обращаем внимание на отсутствие санитарных попусков через створ гидроузла Улицкого водохранилища.

*Река Вазуза*. Река в Смоленской и Тверской областях России, правый приток Волги, одна из чистейших рек России. В среднем течении расположен город Сычёвка. При впадении в Волгу — город Зубцов. Длина Вазузы 162 км, площадь водосборного бассейна — 7120 км<sup>2</sup>. В октябре 1977 года река Вазуза была гидротехнически

сведена с Москворецким водоисточником, снабжающим столицу. Вазузское водохранилище самое крупное и самое чистое, обеспечивает не менее 20% питьевого водоснабжения г. Москва. Вода трех водохранилищ гидросистемы — Вазузского, Яузского, Верхнерузского — ежедневно проходит строгий лабораторный контроль. Пробы воды отбираются со всех водохранилищ и каналов и направляются в Кармановский гидроузел, расположенный на Яузском водохранилище. Это центр гидросистемы, по каналу Гжать — Яуза он связан с Вазузским водохранилищем, а по каналу Яуза — Руза — с Верхнерузским, где находится лаборатория Вазузской гидротехнической системы, позволяющей контролировать уникальное качество природной воды.

*Река Осьма*. Левый приток Днепра. Длина 104 км, площадь бассейна 1530 тыс. км<sup>2</sup>. Берет начало в 6—8 км к северо-востоку от дер. Осьма Вяземского района на юго-западе Вяземской возвышенности.

*Река Жижала* — левый приток Угры. Длина 64 км, площадь водосбора 612 км<sup>2</sup>. Начало берет южнее поселка Туманово Вяземского района. Течет в основном с севера на юг по территории Вяземского района, в нижнем течении заходит в пределы Темкинского района. Питание преобладает снеговое (до 50%), максимум расхода приходится на весну. С точки зрения геоэкологических рисков река надежно защищена практически полным отсутствием дорожной и иной хозяйственной инфраструктуры.

Таким образом, реки Вяземского района делятся по геоэкологическим параметрам на три четкие выраженные категории.

I. Подвергшиеся антропогенному воздействию: Днепр, Вязьма.

II. Находящиеся в естественной для района природной среде: Жижала, Осьма.

III. Особо охраняемые поверхностные источники питьевого водоснабжения: Вазуза.

Необходимо отметить, что даже реки, подвергшиеся антропогенному воздействию, не потеряли способности к самовосстановлению. При принятии ряда мер, описание которых выходит за рамки выполненного исследования, в перспективе трех-пяти лет на территории Вяземского района, учитывая его богатую историю, множество памятников культуры русского государства и близость к столице, может быть организован культурно-ландшафтный узел, обеспечивающий немногочисленное население работой и доходами. Плотность

населения Вяземского района даже в XI веке была существенно выше, чем в 2023 г., — 21,5 чел./км<sup>2</sup>. По состоянию на 2025 г. — 20,72 чел./км<sup>2</sup>.

**Геоэкологическая и социально-демографическая характеристики Вяземского района и объектов размещения производственных и твердых коммунальных отходов**

*Демографическая и социальная характеристика постоянных жителей Вяземского района Смоленской области.* На 1 августа 2023 года численность населения (постоянных жителей) Вяземского района составляла 73 866 человек. Большинство жителей района находятся в наиболее трудоспособном возрасте. Численность населения Вяземского района по возрастным группам представлена в таблице 4. Всего на 1 августа 2023 г. в Вяземском районе постоянно проживают 32 494 мужчины (43,99%) и 41 372 женщины (56,01%) [Инвестиционный портал Смоленской области. <https://smolinvest.ru/region/about/naselenie/>].

Снижение численности населения района (с 71 664 в 2021 г. до 69 166 в 2025 г.) [администрация муниципального образования «Вяземский муниципальный округ Смоленской области». <https://vyazma.admin-smolensk.ru/>] негативно влияет на динамику социально-экономических показателей района.

Среди жителей Вяземского района преобладают люди со средним образованием. Сводные данные представлены в таблице 5.

Занятость населения Вяземского района сведена в таблицу 6.

Инвалидность. Всего на 1 августа 2023 среди постоянных жителей Вяземского района инвалидность имели 5887 человек, что составляет 7,97 % от всего населения. Из них: инвалидов 1-й группы 694 (0,94 %); инвалидов 2-й группы 2519 (3,41 %); инвалидов 3-й группы 2319 (3,14 %); детей-инвалидов 355 (0,48 %).

Доходы населения Вяземского района на 2022—2024 гг. Доходы населения в данном случае — это

**Таблица 4.** Численность населения Вяземского района по возрастным группам на 2023 г. [Инвестиционный портал Смоленской области. <https://smolinvest.ru/region/about/naselenie/>]

**Table 4.** Population of Vyazemsky District by age groups for 2023. [Investment portal of the Smolensk region. <https://smolinvest.ru/region/about/naselenie/>]

Возрастная группа	Количество человек	В процентном отношении
Дети до 6 лет	7350	9,95
Подростки от 7 до 17 лет	8753	11,85
Молодежь от 18 до 29 лет	8827	11,95
Взрослые от 30 до 59 лет	31 799	43,05
Пожилые старше 60 лет	16 103	21,8
Долгожители старше 80 лет	1034	???
Итого:	73 866	100

**Таблица 5.** Уровень образования жителей Вяземского района (<https://bdex.ru/naselenie/smolenskaya-oblast/n/vyazemskiy/?ysclid=mams3x0xh9563296644>)

**Table 5.** Education level of residents of Vyazemsky district (<https://bdex.ru/naselenie/smolenskaya-oblast/n/vyazemskiy/?ysclid=mams3x0xh9563296644>)

Уровень образования	Количество человек	В процентном отношении
Высшее	14 404	19,5
Неполное высшее	1034	1,4
Среднее профессиональное	30 654	41,5
11 классов	11 154	15,1
9 классов	7756	10,5
5 классов	5762	7,8
Необразованные	443	0,6
Неграмотные	222	0,3

**Таблица 6.** Занятость населения Вяземского района (<https://bdex.ru/naselenie/smolenskaya-oblast/n/vyazemskiy/?ysclid=mams3x0xh9563296644>)**Table 6.** Employment of the population of Vyazemsky district (<https://bdex.ru/naselenie/smolenskaya-oblast/n/vyazemskiy/?ysclid=mams3x0xh9563296644>)

Характеристика занятости	Количество человек	В процентном отношении
Работающие	44 024	59,6
Пенсионеры	21 421	29,0
Официально зарегистрированные безработные	4284	5,8

**Таблица 7.** Средняя заработная плата в Вяземском районе в 2022—2024 годах (доклад главы района «О достигнутых значениях показателей для оценки эффективности деятельности администрации муниципального образования «Вяземский муниципальный округ» Смоленской области за 2024 год и их планируемых значениях на 3-летний период». <https://vyazma.admin-smolensk.ru/ekoekonomika/doklad-glavy/>)**Table 7.** Average salary in Vyazemsky district in 2022—2024 (report of the head of the district “On the achieved values of indicators for assessing the effectiveness of the activities of the administration of the municipality “Vyazemsky municipal district” of the Smolensk region for 2024 and their planned values for a 3-year period”. <https://vyazma.admin-smolensk.ru/ekoekonomika/doklad-glavy/>)

Размер компании	Количество сотрудников	Зарплата в месяц, на руки, в рублях	
		2022 г.	2024 г.
Крупные	от 250	41 830	45 470
Средние	до 250	32 870	35 720
Малые	до 100	26 890	29 230
Микропредприятия	до 15	17 930	19 490
Бюджетные		23 900	25 980

заработная плата, отраженная в документах налоговой службы. Это не медианный, а усредненный уровень заработной платы, то есть заработная плата рассчитывается как среднеарифметическая. Данные сведены в таблицу 7.

При написании данного раздела использовались материалы из источников [3—9]. Приведенные основные показатели, наряду с другими, относительно среднестатистической семьи из трех человек: усредненной стоимостью коммунальных платежей, за месяц; транспортные расходы, семья за месяц; средняя стоимость расходов на обед семьи на работе, за месяц; средняя стоимости потребительской корзины — позволяют исчислить суммарные затраты на жизнеобеспечение. Полученные монетарные показатели преобразуются в затраченное количество человеко-часов, необходимых для обеспечения жизни. То есть это объективный метод анализа уровня жизни в различных регионах, позволяющий через временные затраты на труд и потребление оценить успешность или неуспешность того или иного общества по времени, применимый как контрольный инструмент оценки достижения общественных целей. Метод, позволяющий определить соотношение трудозатрат к фактическому уровню жизни

в различных регионах, включая Вяземский район Смоленской области. Однако такое исчисление выходит за рамки работы; тем не менее можно утверждать, что жителю Вяземского района необходимо существенно дольше работать, чтобы получить сходный продукт, чем в Москве или даже в Смоленске. Для поддержания жизнеобеспечения семьи из двух работающих людей с ребенком-школьником, как показывают в том числе и выполненные нами расчеты, необходим принципиально различный объем затрат времени, где Вязьма проигрывает Смоленску и с существенным отрывом — Москве. Это отвечает в том числе и на вопрос, почему люди переезжают в столицу и большие города. Очевидна разница в суммарных затратах на жизнеобеспечение в различных местах [10].

#### Объекты размещения отходов на территории Вяземского района Смоленской области

Данные приведены на основании официальной информации, размещенной Федеральной службой по надзору в сфере природопользования на 01.08.2023. Приводятся сведения из Государственного реестра объектов размещения отходов (ГРОРО) [11]. Основные объекты размещения

отходов на территории Смоленской области расположены близ деревень Новая Даниловка, Екимовичи, Володарец, Ставково, Васильки, Курбатово, Боровское, Красный двор, Заборье, Белоручье, Кислово, Гусино, Щитники, Елесеенки, Воронино, Пушкарево, Добрино, Кучино, поселка Маркатушино, города Сафоново, поселки городского типа (пгт). Верхнеднепровский, города Десногорск и Смоленск. На территорию Вяземского района приходится один зарегистрированный объект размещения отходов (ОРО) Вяземского района Смоленской области (табл. 8).

Мусор и резкий запах начинаются задолго до полигона. От мусоровозов в сухое время в воздухе стоит постоянная пыль. Качество дорожного покрытия не выдерживает критики. По представленной администрацией Смоленской области информации, полигон работает с многочисленными нарушениями.

Плановое строительство нового объекта по сбору, обработке, утилизации и захоронению отходов на участке, граничащем с действующим полигоном ТКО, отменено. Действовавший губернатор Алексей Островский на 29-м заседании Смоленской областной думы заявил, что в интересах вязьмичей и смолян, в соответствии с обращениями граждан, а также регионального отделения Всероссийской политической партии «Единая Россия» принял решение о блокировке строительства и дал поручение данному конкретный объект «заморозить»: *«Уважаемые коллеги, ко мне действительно обратилось руководство регионального отделения партии “Единая Россия”. Глава района также ко мне обращалась по поводу возмущения вязьмичей предполагаемым строительством будущего мусорного полигона. Поэтому на основании этих обращений я решил данные просьбы поддержать и строительство полигона отменить»* [12].

**Таким образом, на всю территорию Вяземского района Смоленской области, на 3338 км<sup>2</sup> и 73 866 человек постоянного проживания и приезжих, действует один объект размещения отходов.**

72,49% населения района проживает в г. Вязьма, в 8 км от полигона размещения отходов,

и полигон ТКО близ деревни Володарец фактически является городской свалкой города Вязьма (рис. 1).

#### Расчетное количество твердых коммунальных отходов, образующихся на территории Вяземского район Смоленской области

Нормативы накопления твердых коммунальных отходов для категорий объектов Смоленской области утверждены приказом начальника департамента Смоленской области по природным ресурсам и экологии от 28.04.2017 № 281-1/0103 [13] и с тех пор не пересматривались. Для расчета количества образования отходов использовалась формула:

$$G = M \times N,$$

где M — количество жителей; N — норма образования отхода, м<sup>3</sup>/год.

Численность населения Вяземского района Смоленской области 73 866 человек, однако в таблице отразим заниженную, но принятую статистически численность граждан — 73 333 человека.  $G = 73\,866 \times 1,82$ , получаем 134 436,12. То есть годовой показатель количества образования ТКО жителями, зарегистрированными по проживанию в Вяземском районе Смоленской области, — 134 436,12 м<sup>3</sup>/год. При этом надо понимать, что данный показатель занижен, так как нормативы накопления твердых коммунальных отходов не пересматривались с 2017 года.

С точки зрения оценки геоэкологических рисков функционирования объектов размещения производственных и твердых коммунальных отходов Вяземского района Смоленской области такая ситуация является абсолютно неприемлемой по следующим причинам: значительная удаленность от других поселений Вяземского района; сверхнормативная заполненность ТКО полигона; неудачное место с точки зрения загрязнения поверхностных и подземных вод, расположения полигона; техническая запущенность и бытовая захламленность объекта и прилегающей территории.

**Как результат, почти у каждого населенного пункта Вяземского района имеется своя, не входящая ни в какие реестры свалка,**

**Таблица 8.** Объекты размещения отходов Вяземского района Смоленской области  
**Table 8.** Waste disposal facilities in the Vyazemsky district of the Smolensk region

№ в ГРОРО	Наименование	Назначение	Сведения о наличии НВОС ОРО	ОКАТО	Ближайший населенный пункт	Наименование эксплуатирующей организации
67-00001-3-00479-010814	Полигон ТКО Вяземский район	Захоронение	Имеется	66605101	д. Володарец	ОГУП «Экология»

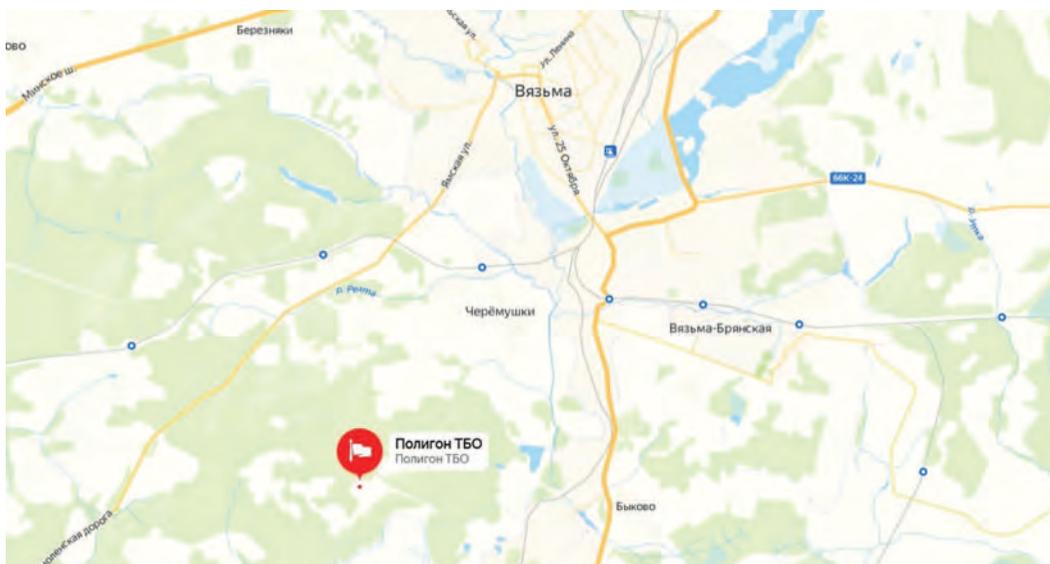


Рис. 1. Место расположения полигона ТКО № 67-00001-3-00479-010814

Fig. 1. Location of solid municipal waste landfill No. 67-00001-3-00479-010814

**территория города Вязьма и других мест, прилегающих к поселкам, захламлена. И такая ситуация будет развиваться и далее.**

**Отходы животноводства.** Данных об обращении с отходами животноводства нет ни на сайте администрации Смоленской области, ни на сайтах федеральных служб. Тем не менее на территории Вяземского района находится ряд крупных предприятий агропромышленного комплекса. В данной публикации приводится собранный нами перечень этих предприятий, их специализация и место расположения представительств компаний. Перечень крупнейших сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий Вяземского района Смоленской области:

**Свиноводческий комплекс «Сычевка», Акционерное общество «Останкинский мясоперерабатывающий комбинат» (АО «ОМПК»),** 2,2 км от деревни Кайдаково Вяземского района Смоленской области. Главный офис: 127254, г. Москва, Огородный проезд, д. 18. Поголовье насчитывает более 40 тысяч свиней. Ключевая проблема свиноводства — утилизация отходов. Одна особь дает до 5—8 кг навоза в сутки, 2—3 тонны в год. Свинокомплекс на 40 тысяч свиней, согласно типовым расчетам, должен иметь навозохранилище объемом 160—170 тыс. м<sup>3</sup>. Такого рода сооружения на территории агрокомплекса отсутствуют. Свиной навоз из-за кормов, антибиотиков, стимуляторов роста и физиологии животных агрессивен по отношению к окружающей среде. Использование отходов

индустриальных свиноферм в качестве удобрений категорически запрещено, так как в них известно до 400 опасных химических веществ и биологических паразитов: соли металлов, антибиотики, гребенчатые черви, различные патогенные микроорганизмы, вирусы и микробы. При попадании продуктов животноводства в поверхностные воды, как правило, экологии водоемов наносится колоссальный ущерб.

В настоящее время, согласно нашему опросу, по словам местных жителей, навоз складывается и вывозится на поля близ реки Угра. Мы убедились, что левый приток Угры, река Волоста, органолептически несет следы сброса. Известно разбирательство ряда административных дел, связанных с несанкционированным захоронением свиней за территорией свинокомплекса, а также был вопрос по сбросу ядовитых отходов в реку Волоста, где погибла рыба и был нанесен экологический ущерб (информация предоставлена председателем депутатской комиссии по законности, правопорядку и депутатской этике Совета депутатов Вяземского городского поселения С.Р. Алымовым, директором МОУ «Кайдаковская средняя общеобразовательная школа», депутатом Совета депутатов Вяземского городского поселения Е.В. Тимофеевым, председателем Совета депутатов Вяземского городского поселения О.С. Григорьевым).

Предприятия по производству молока: ЗАО СП «Шуйское», (Prodinvest), группа компаний «Инвест Финанс», Смоленская обл., Вяземский р-н,

с. Шуйское. Голштино-фризская порода коров. В стаде хозяйства более 1600 породистых особей, из них 850 — это дойные коровы, которые дают в среднем более 20 т молока ежедневно; СПК «Восход», Смоленская область, Вяземский район, дер. Юшково; СПК «Некрасовский», Смоленская область, Вяземский район, дер. Ефремово; ООО «Агрохолдинг «Успенское», Смоленская область, Вяземский район, дер. Успенское; ООО «Колхоз Новосельский», Смоленская область, Вяземский район, дер. Новое Село; ООО «Туманово-Агро», Смоленская область, Вяземский район, с. Туманово; ООО «Вяземские фермы», Смоленская область, Вяземский район, с. Шуйское (по материалам «СПАРК-Интерфакс: spark-interfax.ru/smolenskaya-oblast-vyazemski-raion).

Отходы животноводства — это многокомпонентная смесь, включающая в себя твердые и жидкие продукты жизнедеятельности сельскохозяйственных животных (экскременты), технологическую и смывную воду, кормовые остатки и газы. Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО), утвержденному приказом Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 22.05.2017 № 242, к отходам животноводства относятся отходы, входящие в подтип «Отходы животноводства (включая деятельность по содержанию животных)» [14]. Количество образующихся отходов животноводства в соответствии с данными статистической отчетности 2-ТП (отходы) за 2018 год составляло 282 129,693 т — это сведения по Смоленской области в целом (Приказ Департамента Смоленской области по природным ресурсам и экологии от 22.04.2020 № 0135/0103 «Об утверждении Территориальной схемы обращения с отходами Смоленской области»). Других данных в открытых источниках нет.

*Медицинские отходы.* По территории Вяземского района информации по пунктам сбора медицинских отходов нет.

*Биологические отходы.* Биологические отходы — это трупы животных и птиц, в том числе лабораторных, абортированные и мертворожденные плоды, ветеринарные конфискаты (мясо, рыба, другая продукция животного происхождения), выявленные после ветеринарно-санитарной экспертизы на убойных пунктах, хладобойнях, в мясо-рыбоперерабатывающих организациях, рынках, организациях торговли и других объектах, другие отходы, получаемые при переработке пищевого и непищевого сырья животного происхождения. На территории Вяземского района Смоленской

области отсутствуют утилизационные заводы, так как объемы биологических отходов, подлежащих утилизации на территории области, небольшие. В целом по Смоленской области действуют 33 установки для уничтожения биологических отходов с годовой мощностью утилизации до 3,0 т (Приказ Департамента Смоленской области по природным ресурсам и экологии от 22.04.2020 № 0135/0103 «Об утверждении Территориальной схемы обращения с отходами Смоленской области»). На территории Смоленской области и, возможно, Вяземского района имеются зарегистрированные скотомогильники, но данная информация носит служебный характер.

*Расположение существующих мест накопления ТКО.* Места накопления отходов — это, как правило, контейнерные площадки и площадки под них. По Вяземскому району имеется сведения о 297 контейнерных площадках 657 установленных контейнеров (бункеров) общим объемом установленных контейнеров 1007 м<sup>3</sup> (Приказ Департамента Смоленской области по природным ресурсам и экологии от 22.04.2020 № 0135/0103 «Об утверждении Территориальной схемы обращения с отходами Смоленской области»). Вместимость контейнеров от 0,2 до 8 м<sup>3</sup>. Данные об их нахождении представлены в соответствии со схемами размещения мест (площадок) накопления твердых коммунальных отходов и реестрами мест (площадок) накопления твердых коммунальных отходов. Вывоз отходов производится на полигон ТКО, расположенный вблизи урочища Пастиха Вяземского района Смоленской области, эксплуатируемый ОГУП «Экология». Среднее плечо вывоза составляет 22,66 км. В ряде мест Смоленской области оборудованы контейнеры для раздельного накопления твердых коммунальных отходов: пластика, стекла и бумаги. В Вяземском районе установлен единственный «экошкаф» (?): г. Вязьма, ул. 1 Мая, д. 8 (Приказ Департамента Смоленской области по природным ресурсам и экологии от 22.04.2020 № 0135/0103 «Об утверждении Территориальной схемы обращения с отходами Смоленской области»).

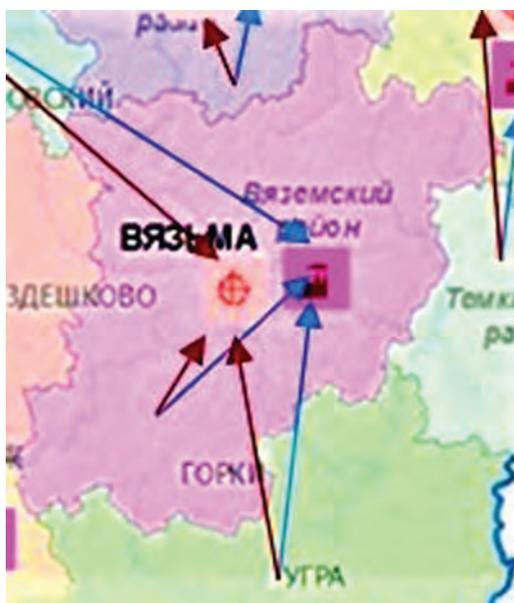
*Деятельность по обезвреживанию ТКО.* Деятельность по обезвреживанию ТКО на территории Вяземского района Смоленской области не осуществляется.

*Сведения об объектах утилизации отходов.*

*Участок очистки и депарафинизации углеводородного сырья.* На территории Вяземского района Смоленской области находится участок очистки и депарафинизации углеводородного сырья ООО «Килас Кура» по адресу: 215800, Смоленская

область, Вяземский район, Относоское сельское поселение. Производственная мощность объекта утилизации отходов составляет 25 000 тонн в год (Проект нормативов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для Общества с ограниченной ответственностью «Килас Кура», промышленная площадка расположена по адресу: Смоленская область, Вяземский район, на 236 км + 750 м а/м а/д Москва — Минск (левая сторона). Документ №67.СО.01.000.Т.000018.01.17 от 20 января 2017 г. Санитарно-эпидемиологическое заключение на проектную документацию).

Сероводород, соединения меркаптановой серы и углекислый газ являются наиболее распространенными загрязнителями углеводородного сырья. Ввиду их высокого коррозионного воздействия на выполненные из углеродистой стали оборудование и трубопроводы эти соединения должны быть удалены из сырьевого потока, если их концентрация превышает допустимую, что и делается на участке очистки.



**Рис. 2.** Схема потоков отходов Вяземского района (администрация муниципального образования «Вяземский муниципальный округ» Смоленской области. <https://vyazma.admin-smolensk.ru/struktura/upravlenie-zhkh/obraschenie-s-tverdymi-kommunalnymi-otходami/?ysclid=mamtwck33q386997536>)

**Fig. 2.** Waste flow diagram of the Vyazemsky district (administration of the municipality “Vyazemsky municipal district” of the Smolensk region. <https://vyazma.admin-smolensk.ru/struktura/upravlenie-zhkh/obraschenie-s-tverdymi-kommunalnymi-otходami/?ysclid=mamtwck33q386997536>)

Удаление соединений сероводорода и углекислого газа водными растворами аминов — традиционный метод с более чем пятидесятилетней историей. Область применения установок аминной очистки: очистка газа от  $H_2S$ ,  $CO_2$  и частично от соединений меркаптановой серы; очистка сжиженных углеводородных газов (СУГ); удаление  $CO_2$  из синтез-газа.

*Утилизация резинотехнических изделий:* ООО «КСТ-Экология» по адресу: 215119, г. Вязьма, ул. Строителей, д. 1. Действуют две линии переработки: линия по переработке изношенных автомобильных покрышек (производства Дании); линия по переработке отходов резинотехнических изделий (производства Германии). Производственная мощность объекта утилизации отходов — 10 000 т в год (завод по переработке резинотехнических изделий ООО «КСТ-Экология». <https://kst-ecology.ru/>).

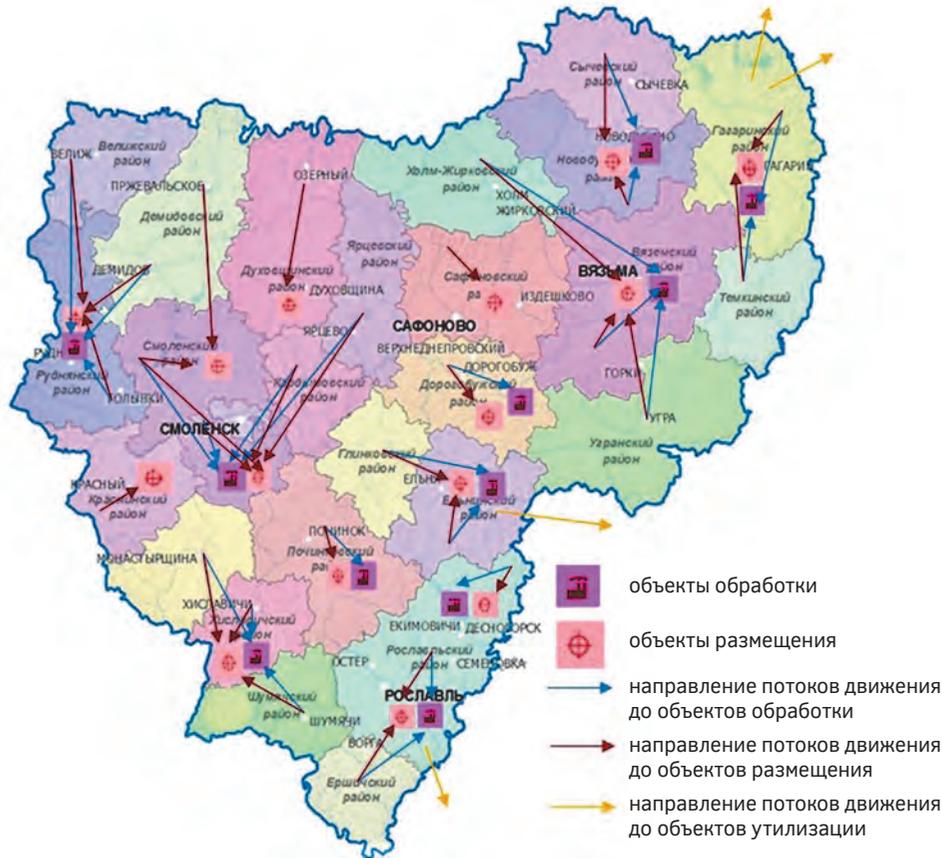
*Утилизация графитсодержащих отходов.* ЗАО «Технографит»: 215100, г. Вязьма, ул. Песочная, д. 8. Используются гидравлические прессы, изостатический пресс, печь графитации, печь окисления, печь обжига. Производственная мощность объекта утилизации отходов — 20 000 т в год (ЗАО «Технографит». <http://technographite.ru/>).

*Схема потоков отходов.* Схема потоков отходов представлена на рисунках 2 и 3.

Как видно на рисунках 2 и 3, Вяземская область принимает отходы из Холм-Жирковского и Угровского районов при более чем 80% заполненности единственного полигона ТКО. Расстояния транспортирования ТКО от населенного пункта до полигона захоронения близ Поляновского сельского поселения, д. Володарец, включенного в ГРОРО, в км: город Вязьма — 8,3; село Андрейково — 11; село Вязьма-Брянская — 16; деревня Кайдаково — 21; деревня Новое село — 20; село Семлево — 32; село Новый — 27; село Туманово — 46. Общее количество образованных ТКО — около 20 000 т/год.

*Планируемое строительство.* Планируемое строительство комплекса, включающего в себя объекты по обработке, утилизации и размещению отходов в Вяземском районе проектной мощностью объекта 60 тыс. т/год 2024 года реализации, отменено решением губернатора.

*Выводы по разделу.* Местное и областное самоуправление, как, впрочем, и федеральное, не считает нужным приводить в соответствие геоэкологическую обстановку на территории Вяземского района. Единственный легальный полигон захоронения отходов не отвечает базовым



**Рис. 3.** Схема потоков отходов Смоленской области и Вяземского района (территориальная схема обращения с отходами Смоленской области, утвержденная приказом Министерства природных ресурсов и экологии Смоленской области от 10 июля 2024 года № 0208/0103)

**Fig. 3.** Scheme of waste flows of the Smolensk region and Vyazemsky district (territorial scheme of waste management of the Smolensk region, approved by the order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Smolensk region dated July 10, 2024 No. 0208/0103)

санитарно-эпидемиологическим требованиям и будет в ближайшее время полностью заполнен. Отсутствует система наблюдения по контролю и защите грунтовых вод, расположенных в районе воздействия полигона. После закрытия полигона он будет представлять угрозу для окружающей среды. Новые объекты не строятся и не проектируются. Реки Улица, Вязьма, Гжать превращены в сточные канавы. Река Днепр получает мощный поток загрязнителей именно в Вяземском районе.

### Выводы

**Геоэкологические риски.** Оскудение кормящих и рекреационных ландшафтов, в том числе связанное с обращением отходов производства и потребления, приводит к социально-политическим рискам. И на территории Вяземского района геоэкологические риски продолжительное

время раскачивают социально-политическую стабильность региона.

**Методология оценки геоэкологических рисков.** Сформулирована четкая система оценки геоэкологических рисков. Предложен метод определения геоэкологических рисков через анализ априорной и апостериорной опасности при функционировании объектов размещения производственных и твердых коммунальных отходов. Параллельное применение обоих видов анализа позволяет существенно снизить опасность вне регламентных и аварийных ситуаций в части обращения с отходами. Определена последовательность исследования опасности возникновения аварийных и вне регламентных ситуаций в системе обращения с отходами. Дана формализация групп геоэкологических рисков. Показано, что реализация геоэкологических рисков прямо связана с сокращением продолжительности жизни населения.

Выполнена текущая характеристика геоэкологического состояния Вяземского района Смоленской области. В том числе дана актуальная административная и демографическая характеристика; оценено социально-экономическое состояние района.

Приведена характеристика основных рек Вяземского района и их геоэкологического состояния, в том числе по данным собственных полевых работ. Выделена зональность загрязненности реки Вязьмы. По геоэкологическим параметрам реки Вяземского района выделены в три категории. Необходимо отметить, что даже реки, подвергшиеся антропогенному воздействию, не потеряли способности к самовосстановлению.

При принятии ряда мер, описание которых выходит за рамки выполненного исследования, в перспективе трех-пяти лет на территории Вяземского района, учитывая его богатую историю, множество памятников культуры русского государства и близость к столице, может быть организован культурно-ландшафтный узел, обеспечивающий немногочисленное население работой и доходами. Плотность населения Вяземского района даже в XI веке была существенно выше, чем сейчас, — 21,5 чел./км<sup>2</sup>.

Исследование демографической характеристики и социально-экономических показателей: изучение усредненной стоимости коммунальных платежей, транспортных расходов, средней стоимости расходов на обед, средней стоимости потребительской корзины позволяет исчислить суммарные затраты на жизнеобеспечение. Полученные монетарные показатели могут быть преобразованы в затраченное количество человеко-часов, необходимых для обеспечения жизни, то есть выполнить объективный анализ уровня жизни людей района. Жителю Вяземского района необходимо существенно дольше работать, чтобы получить сходный продукт, чем в Москве или даже в Смоленске. Для поддержания жизнеобеспечения семьи из двух работающих людей с ребенком-школьником, как показывают в том числе и выполненные нами расчеты, необходим принципиально различный объем затрат времени, где Вязьма проигрывает Смоленску и с существенным отрывом Москве. Это отвечает в том числе и на вопрос, почему люди переезжают в столицу и большие города. Очевидна разница в суммарных затратах на жизнеобеспечение в различных местах.

На 3338 км<sup>2</sup> и 73 866 человек постоянного проживания и приезжих действует один объект размещения отходов. 72,49%

населения района проживает в г. Вязьма, в 8 км от полигона размещения отходов и полигона ТКО близ деревни Володарец, которые фактически являются городской свалкой города Вязьма. Полигон находится в безобразном санитарно-эпидемиологическом состоянии, что послужило предметом социальной дискуссии жителей близлежащих поселков с уже бывшим губернатором Смоленской области.

С точки зрения оценки геоэкологических рисков функционирования объектов размещения производственных и твердых коммунальных отходов Вяземского района Смоленской области такая ситуация является абсолютно неприемлемой по следующим причинам: значительная удаленность от других поселений Вяземского района; сверхнормативная заполненность ТКО полигона; неудачное место с точки зрения загрязнения поверхностных и подземных вод, расположения полигона; техническая запущенность и бытовая захламленность объекта и прилегающей территории.

Как результат, почти у каждого населенного пункта Вяземского района имеется своя, не входящая ни в какие реестры свалка; территория города Вязьма и других мест, прилегающих к поселкам, захламлена. Такая ситуация будет развиваться и далее. Принцип формирования территориальной схемы Смоленской области носит исключительно формальный характер. Планируемое строительство нового мусороперерабатывающего комплекса, включающего в себя объекты по обработке, утилизации и размещению отходов в Вяземском районе, проектной мощностью 60 тыс. т/год, 2024 года реализации, отменено решением бывшего губернатора.

Местное и областное самоуправление, как, впрочем, и федеральное, не считает нужным приводить в соответствие с собственными нормативами геоэкологическую обстановку на территории Вяземского района.

Единственный легальный полигон захоронения отходов не отвечает базовым санитарно-эпидемиологическим требованиям и будет в ближайшее время полностью заполнен. Отсутствует система наблюдения по контролю и защите грунтовых вод, расположенных в районе воздействия полигона. После закрытия полигона он будет представлять угрозу для окружающей среды. Новые объекты не строятся и не проектируются.

Реки Улица, Вязьма, Гжать превращены в сточные каналы. Река Днепр получает мощный поток загрязнителей именно в Вяземском районе.

Выполнена оценка геоэкологических рисков функционирования объектов размещения произ-

водственных и твердых коммунальных отходов Вяземского района Смоленской области. На ее базе может быть разработан ландшафтно-экологический алгоритм размещения производственных и твердых коммунальных отходов, обеспечивающий кратное увеличение безопасности населения и окружающей среды. Однако данная задача не является предметом текущего исследования.

И в качестве общественного заключения. Может быть, администрации Смоленской области,

учитывая столь «внебюджетное» положение дел по обращению с отходами, имело бы смысл обновить состав Общественного совета при Департаменте Смоленской области по природным ресурсам и экологии и попробовать собирать его несколько чаще. То, что мы видим в экспедиционных работах на территории Смоленской области в целом и Вяземского района в частности, требует исправления силами не только администрации, но и местных жителей, в том числе объединенных в составе активно работающего Общественного совета.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Институт общественного мнения «Анкетолог». URL: <https://iom.anketolog.ru/> (дата обращения: 23.10.2023).
2. Приказ начальника Департамента Смоленской области по природным ресурсам и экологии от 28.04.2017 № 281-1/0103 «Об установлении нормативов накопления твердых коммунальных отходов на территории Смоленской области».
3. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» (ред. от 02.11.2018).
4. Сведения из государственного реестра объектов размещения отходов. Росприроднадзор. URL: <https://rpn.gov.ru/activity/regulation/kadastr/oro/> (дата обращения: 23.10.2023).
5. Стенограмма заседания № 29 Смоленской областной Думы.
6. Якуцени С.П. Политическая экология о стоимости труда и жизни в единицах времени. Журнал «Географическая среда и живые системы», 2023. ISSN 2712-7613
7. Якуцени С.П. «Политическая экология. Взгляд из России». М. — Берлин: Директ-Медиа, 2017. 353 с.: илл.
8. BDEX 2019-2023. Зарплаты, вакансии, цены, пенсии, население, недвижимость. URL: <https://bdex.ru/> (дата обращения: 23.10.2023).
9. Cohen B.L. Catalog of Risks Extended and Updated. Health Physics. 1991. Vol. 61. P. 89—96
10. DataReportal. URL: <https://datareportal.com> (дата обращения: 23.10.2023).
11. Sixth Sense. URL: <https://6-sense.pro/resource> (дата обращения: 23.10.2023).
12. Statista.com. URL: <https://www.statista.com/> (дата обращения: 23.10.2023).
13. Statcounter. URL: <https://gs.statcounter.com/> (дата обращения: 23.10.2023).
14. Zarplan.com. URL: <https://zarplan.com/zarplata> (дата обращения: 23.10.2023).

### REFERENCES

1. Institute of Public Opinion “Anketolog”. URL: <https://iom.anketolog.ru/> (date of access: 23.10.2023). (In Russ)
2. Order of the Head of the Department of Natural Resources and Ecology of the Smolensk Region dated 28.04.2017 No. 281-1 / 0103 “On establishing standards for the accumulation of solid municipal waste in the Smolensk Region”. (In Russ)
3. Order of Rosprirodnadzor dated 22.05.2017 No. 242 “On approval of the Federal Classification Catalog of Waste” (as amended on 02.11.2018). (In Russ)
4. Information from the state register of waste disposal facilities. Rosprirodnadzor. URL: <https://rpn.gov.ru/activity/regulation/kadastr/oro/> (date of access: 23.10.2023). (In Russ)
5. Transcript of meeting No. 29 of the Smolensk Regional Duma. (In Russ)
6. Yakutseni S.P. Political ecology on the cost of labor and life in units of time. Journal “Geographical Environment and Living Systems”, 2023. ISSN 2712-7613 (In Russ)
7. Yakutseni S.P. “Political Ecology. A View from Russia”. Moscow — Berlin: Direct-Media, 2017. 353 p.: ill. (In Russ)
8. BDEX 2019-2023. Salaries, vacancies, prices, pensions, population, real estate. URL: <https://bdex.ru/> (date of access: 10/23/2023). (In Russ)
9. Cohen B.L. Catalog of Risks Extended and Updated. Health Physics. 1991. Vol. 61. P. 89—96. (In Russ)
10. DataReportal. URL: <https://datareportal.com> (accessed on 23.10.2023). (In Russ)
11. Sixth Sense. URL: <https://6-sense.pro/resource> (accessed on 23.10.2023). (In Russ)
12. Statista.com. URL: <https://www.statista.com/> (accessed on 23.10.2023). (In Russ)
13. Statcounter. URL: <https://gs.statcounter.com/> (accessed on 23.10.2023). (In Russ)
14. Zarplan.com. URL: <https://zarplan.com/zarplata> (accessed on 23.10.2023). (In Russ)

### ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Якуцени С.П. — разработал концепцию статьи, выполнил анализ, обобщение и систематизацию материалов для статьи, подготовил текст статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Sergey P. Yakutseni — developed the concept of the article, performed the analysis, generalization and systematization of materials for the article, prepared the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Якуцени Сергей Павлович** — кандидат геолого-минералогических наук, начальник управления фундаментальных и прикладных научных исследований Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.  
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [spyakutseni@gmail.com](mailto:spyakutseni@gmail.com)  
SPIN-код: 7899-7933  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3757-3542>

**Sergey P. Yakutseni** — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Head of the Department of Fundamental and Applied Scientific Research of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [spyakutseni@gmail.com](mailto:spyakutseni@gmail.com)  
SPIN-code: 7899-7933  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3757-3542>



## ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОМОНИТОРНЫХ ШАРОШЕЧНЫХ ДОЛОТ ПРИ БУРЕНИИ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН

Р.С. ИБРАГИМОВ<sup>1,\*</sup>, Ш.О. БАХШАЛИЕВА<sup>1</sup>, П.В. СУЛЕЙМАНОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности  
34, проспект Азадлыг, г. Баку AZ1010, Азербайджан*

<sup>2</sup> *Сумгаитский государственный университет  
1, ул. Баку, г. Сумгаит AZ5008, Азербайджан*

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** При бурении взрывных скважин используют различные буровые инструменты. Производительность бурения шарошечными долотами (до 30 м в Азербайджане в смену) по сравнению с другими бурильными инструментами (10—15 м в смену) значительно выше, поэтому данный вид бурения взрывных скважин применяют на геологических взрывных скважинах чаще других.

**Цель.** Рассмотреть возможность совершенствования технологии бурения взрывных скважин на основе внедрения новой методики бурения с использованием гидромониторных долот для повышения эффективности бурения скважин.

**Материалы и методы.** В статье рассмотрены результаты бурения взрывных скважины с позиции изменения давления в скважине под воздействием высокого напора струи, вытекающей из насадок гидромониторного шарошечного долота. При решении проблемы повышения эффективности и строительстве взрывных скважин внимание уделяется использованию гидромеханического разрушения забоя скважины.

**Результат.** Показано, что из-за резкого изменения давления в порах пород заключенная в них жидкость сжимается, происходит гидравлический удар, в результате чего стенки пор, расширяясь, разрушаются. Внедрение высоконапорной струи промывочной жидкости в забое скважины способствует улучшению управления процессом бурения.

**Ключевые слова:** проходка, скважина, гидромониторные долота, горное давление, плотность жидкости, промывочная жидкость

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирования:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Ибрагимов Р.С., Бахшалиева Ш.О., Сулейманова П.В. Исследование гидромониторных шарошечных долот при бурении взрывных скважин. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(2):134—140. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-134-140> EDN: [XSTCQL](#)

Статья поступила в редакцию 10.11.2023

Принята к публикации 25.02.2025

Опубликована 30.06.2025

\* Автор, ответственный за переписку

## USE OF HYDROMONITOR ROLLER BITS FOR DRILLING BLAST BOREHOLES

RAFIQ S. IBRAHIMOV<sup>1,\*</sup>, SHİRİN O. BAHSHALIEVA<sup>1</sup>, PARVANA V. SULEYMANOVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Azerbaijan State University of Oil and Industry  
34, Azadlig Ave., Baku AZ1010, Azerbaijan

<sup>2</sup> Sumgait State University  
1, Baku str., Sumgait AZ5008, Azerbaijan

### ABSTRACT

**Background.** Blast boreholes can be drilled using various drilling tools. The drilling efficiency of roller bits (up to 30 m per shift in Azerbaijan) is significantly higher than that of other drilling tools (10—15 m per shift), which explains their wider application.

**Aim.** To improve the technology of blast borehole drilling by applying hydromonitor bits with the purpose of increasing the drilling efficiency.

**Material and methods.** The process of blast borehole drilling was analyzed, with a focus on changes in the pressure in the borehole under the influence of a high-pressure jet flowing out of the nozzles of a hydromonitor roller bit. When solving the problem of increasing the drilling efficiency of such boreholes, attention is paid to the use of hydromechanical destruction of the borehole bottom.

**Results.** The conducted analysis showed that sharp changes in the pressure in rock pores lead to compression of the liquid contained therein. This creates a hydraulic shock, which expands the pore walls and destroys them. The introduction of a high-pressure jet of washing fluid in the borehole bottom contributes to improving the control of the drilling process.

**Keywords:** penetration, borehole, hydromonitor roller bits, rock pressure, liquid density, washing fluid

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Ibrahimov R.S., Bahshalieva S.O., Suleymanova P.V. Use of hydromonitor roller bits for drilling blast boreholes. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(2):134—140. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-134-140> EDN: [XSTCQL](https://www.edn.org/XSTCQL)

Manuscript received 10 November 2023

Accepted 25 February 2025

Published 30 June 2025

\* Corresponding author

### Введение

Геолого-разведочные организации стран СНГ ежегодно проходили около 300 км подземных и более 100 млн м<sup>3</sup> открытых горных выработок. Более 90% подземных и 35% открытых выработок проходится с использованием взрывчатых веществ (ВВ).

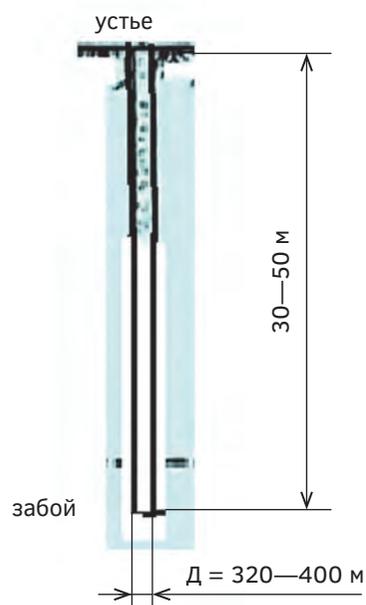
При бурении взрывных скважин используют различные буровые инструменты. Производительность бурения шарошечными долотами (до 30 м в Азербайджане в смену) по сравнению с другими бурильными инструментами (10—15 м в смену) значительно выше, поэтому дан-

ный вид бурения взрывных скважин применяют на геологических взрывных скважинах чаще других. Несмотря на это, улучшение и повышение качественных и количественных показателей буровых станков шарошечного бурения представляет собой актуальную задачу.

Известно, что на работу шарошечного долота влияют удельная осевая нагрузка, прочность и абразивность буримых пород, конструктивные особенности долота (форма, типоразмер, диаметр), износ долота в процессе бурения, степень очистки забоя скважины от шлама, скорость вращения долота и конструктивные особенности станка.

Совместному влиянию вышеуказанных факторов на механическую скорость и производительность станков вращательного бурения посвящены различные теоретические и практические исследования [4, 7, 11]. Однако фундаментального решения данного вопроса до сих пор не найдено.

При бурении скважин гидромониторными шарошечными долотами на взрывных скважинах в результате гидромеханического взаимодействия струи жидкости с горной породой в условиях забоя скважины из-за удара струи происходит дополнительное гидромеханическое разрушение породы. Физик Д. Максвелл указывал, что при определенных условиях жидкость обладает вязкоупругим характером [5]. В момент удара жидкость в струе вначале сжимается и только затем начинает растекаться. Опыты показали, что релаксационный период, когда жидкость сохраняет свойства твердого тела, измеряется миллионными долями секунды, а период растекания длится в сотни раз дольше. Причем период релаксации весьма трудно обнаружить в опытах [8]. При неизменных осевой нагрузке и скорости вращения механическая скорость проходки в взрывных скважинах с увеличением расхода жидкости возрастает. Существенно улучшить очистку забоя от выбуренных частиц и повысить механическую скорость проходки можно,



**Рис. 1.** Типовая конструкция взрывных скважин, пробуренных в Азербайджане  
**Fig. 1.** Design of the blasthole boreholes drilled in Azerbaijan

если гидравлическую мощность потока промывочной жидкости реализовать в насадках гидромониторного шарошечного долота [1, 2].

#### Материалы и методы

Анализ отечественной литературы показал, что скорость шарошечного бурения зависит от многочисленных факторов, которые можно объединить в четыре группы: физико-технические свойства разрушаемой породы, геометрические параметры шарошечного долота, условия взаимодействия долота с породой и режимы бурения [4, 5, 7, 11].

Многочисленные теоретические исследования, проводимые для определения скорости бурения, привели к получению сложных формул с многочисленными коэффициентами, многие из которых необходимо определять опытным путем, например [5].

Для проходки скважин большого диаметра в горных породах и грунтах IV—VII групп применяют машины шарошечного бурения с долотами соответствующих размеров, в том числе и с турбобурами, рабочий орган которых имеет турбинный привод. Анализ данных по бурению взрывных скважин Азербайджана (Гедабек) и сведений о составе горных пород (длинные промежутки очень мягких плохо уплотненных сланцев, доломитов, песчаников, глин) показывает, что в основной породе и руды имеют коэффициент крепости  $f = 8—14$  по шкале Протодяконова. Типовая конструкция взрывных скважин, пробуренных в Азербайджане показана на рисунке 1.

Известно, что в горном деле происходит возникновение гидромеханического давления под воздействием высокого напора струи. Промывочный раствор, вытекающий из насадок гидромониторного шарошечного долота, по своей природе является пульсирующим во время бурения взрывных скважин. Следовательно, в породе, где действует горное давление, возникает знакопеременное напряжение, в результате чего происходит усталость породы [3]. Величина небольшого увеличения давления в поровом пространстве за счет распространения упругих продольных волн может быть определена по формуле Н.Е. Жуковского

$$P = \rho_{ж} v c, \quad (1)$$

где  $\rho_{ж}$  — плотность жидкости;  
 $v$  — скорость струи, потерянная при встрече с поверхностью забоя скважины;  
 $c$  — скорость распространения упругих волн расширения, определяемая по формуле [10, 13]:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho_n} \left[ \frac{\bar{E}(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} + (am+b)(1-\mu) \right]}, \quad (2)$$

где  $\rho_n$  — плотность породы;  
 $\bar{E}$  — модуль объемной упругости пористой среды;  
 $\mu$  — коэффициент Пуассона породы;  
 $m$  — коэффициент объемной пористости среды;  
 $a$  и  $b$  — экспериментальные коэффициенты.

Экспериментально [10] было установлено, что модуль упругости для хрупких тел при динамической нагрузке больше, чем при статической.

Так как коэффициент Пуассона при сжатии больше, чем при расширении, следовательно, с ростом глубины скважины его значение должно возрастать. По данным американских исследователей [14, 6], для песчаника с коэффициентом пористости  $m = 0,30$  коэффициент Пуассона равен  $\mu = 0,25$ , а модуль упругости колеблется в пределах  $E = 2,87 \times 10^8 \div 1,05 \times 10^9$  Н/м<sup>2</sup>.

Экспериментальные коэффициенты, входящие в формулу (2), вычислены для пористого песчаника с коэффициентом пористости  $m = 0,25$  —  $0,30$ , плотностью  $\rho_n = 2,598 \times 10^3$  Н/м<sup>3</sup> и модулем упругости  $E_n = 4,79 \times 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup> и составляют:  $a = 2,87 \times 10^9$  —  $1,92 \times 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>;  $b = 2,39 \times 10^8$  —  $9,58 \times 10^8$  Н/м<sup>2</sup>. Величина коэффициента деформации скелета порового пространства определяется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{P \cdot d_n}{4\delta_0 E_n} (2 - \mu), \quad (3)$$

где  $d_n$  — диаметр пор;  
 $\delta_0$  — толщина перегородок порового пространства.

Эффективный напор для разрушения угла составляет:  $h_{эфф} = (30 \div 50)f$ , где  $f$  — коэффициент крепости по М.М. Протодьяконову.

При напоре струи 3—5 МПа разрушаются породы крепостью  $f \leq 1$ .

Плотность однородного изотропного пористого песчаника определяется по формуле:

$$\rho = (1 - m) \rho_n + m \rho_{ж}. \quad (4)$$

С ростом глубины скважины плотность пористой породы изменяется под влиянием давления и температуры.

Было установлено, что при условиях  $t > 130$  °С плотность промывочной жидкости с ростом давления возрастает по линейному закону:

$$\Delta \rho_p = 4 \cdot 10^{-10} P(I), \quad (5)$$

а с ростом температуры — по квадратичному закону

$$\Delta \rho_t = 4 \cdot 10^{-5} \rho_0 t + 3 \cdot 10^{-6} t^2 - 0,4 \rho_0 \left( \frac{t - 130}{t} \right)^2. \quad (6)$$

Таким образом, плотность песчаника, насыщенного жидкостью, возрастает с ростом давления и уменьшается с ростом температуры, т.е.

$$\rho_{б.р.} = \rho_0 + \Delta \rho_p - \Delta \rho_t. \quad (7)$$

Принимая эффективную пористость породы за абсолютную, для среднего значения объемной упругости можно написать:

$$\bar{E} = \frac{E_{ж} \cdot E_n}{E_{ж} (1 - m) + m E_n}. \quad (8)$$

Фактически модуль упругости породы также является функцией давления и температуры.

Скорость распространения звука в жидкости является линейной функцией температуры. Для воды эта зависимость описывается формулой:

$$c_t = 1390 + 3,3t.$$

Скорость распространения звука в промывочном растворе в зависимости от давления аппроксимируется согласно линейному закону:

$$c_p = 1512 + 0,275P. \quad (9)$$

При возникновении гидромеханического давления в поровом пространстве в результате взаимодействия высоконапорной струи промывочной жидкости с поверхностью забоя скважины относительное изменение объема промывочной жидкости в порах породы равно:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{3(1 - 2\mu)}{\bar{E}} P, \quad (10)$$

где  $P$  — давление жидкости, действующее в поровом пространстве породы.

Так как плотность промывочной жидкости является функцией давления и температуры, то относительное изменение объема промывочного раствора в поровом пространстве может быть записано в виде:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\rho_{б.р.} - \rho_0}{\rho_{б.р.}}. \quad (11)$$

Приравнявая (10) и (11), получим:

$$P = \frac{(\rho_{б.р.} - \rho_0) \bar{E}}{3\rho_{б.р.} (1 - 2\mu)}, \quad (12)$$

где  $\rho_0$  — плотность промывочной жидкости на устье скважины;

$\rho_{б.р.}$  — плотность промывочного раствора в условиях забоя скважины.

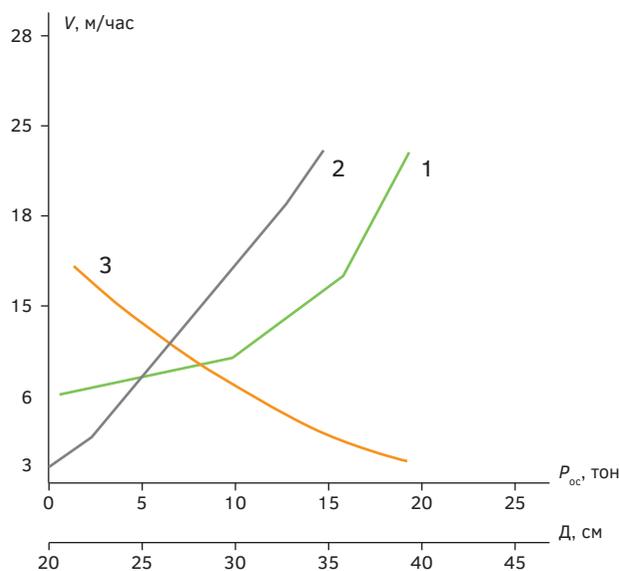
Таким образом, при заданных значениях физических параметров промывочной жидкости и пористой породы скорость струи, необходимая для гидромеханического разрушения забоя скважины, может быть определена на основании совместного решения вышеуказанных формул:

$$v = \frac{\rho_{б.р.} - \rho_0}{3\rho_{р.г}^2(1-2\mu)} \cdot \frac{E_{ж} \cdot E_{п}}{E_{ж}(1-m) + mE_{п}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{п}(1+\mu)(1-2\mu)}{\bar{E}(1-\mu) + (1-\mu^2)(1-2\mu)(am+b)}} \quad (13)$$

Для качественной оценки различных факторов на механическую скорость бурения при условиях обеспечения гидромониторного эффекта по формуле (13) выполнены расчеты и проиллюстрированы на рисунке 2.

Кривые на рисунке 2 построены с использованием следующих исходных данных:

$P_{ос} = 5, 10, 15$  и  $20$  т;  
 $\rho_{б.р.} = 1890; 1850; 1820; 1800$  кг/м<sup>3</sup>;  
 $\rho_0 = 1860; 1820; 1790; 1770$  кг/м<sup>3</sup>;  
 $a = 2,87 \times 10^9$  Н/м<sup>2</sup>;  
 $b = 2,39 \times 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>;  
 $m = 0,30$ .



**Рис. 2.** Зависимость механической скорости бурения от скорости выхода струи из насадок долота (1), осевой нагрузки (2) и диаметра долота (3)

**Fig. 2.** Dependence of the mechanical drilling speed on the speed of the jet exiting the bit nozzles (1) and the bit diameter (3)

По формуле (13) определяем гидромониторную скорость струи, необходимой для гидромеханического разрушения забоя скважины

$$v = \frac{\rho_{р.г} - \rho_0}{3\rho_{р.г}^2(1-2\mu)} \cdot \frac{E_{ж} \cdot E_{п}}{E_{ж}(1-m) + mE_{п}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{п}(1+\mu)(1-2\mu)}{\bar{E}(1-\mu) + (1-\mu^2)(1-2\mu)(am+b)}}$$

$$v = \frac{18900 - 18870}{3 \cdot 18900^2 (1 - 2 \cdot 0,25)} \cdot \frac{2,03 \cdot 10^9 \cdot 4,7910^{10}}{2,03 \cdot 10^9 (1 - 0,30) + 0,30 \cdot 4,7910^{10}} \cdot \sqrt{\frac{2,598 \cdot 10^3 (1 + 0,25)(1 - 2 \cdot 0,25)}{6,18 \cdot 10^9 (1 - 0,25) + (1 - 0,25^2)(1 - 2 \cdot 0,25)(2,87 \cdot 10^9 \cdot 0,30 + 2,38 \cdot 10^8)}} = 129,08.$$

Аналогично:  $v = 132,07$ ;  $v = 136,05$ ;  $v = 138,07$ .

### Заключение

1. В результате мгновенного торможения жидкости в открытых или сообщающихся трещинах или порах породы кинетическая энергия струи превращается в потенциальную, и за этот период жидкость приобретает упругий характер. Благодаря высокой плотности жидкости и скорости распространения звука в ней при внезапном изменении давления в жидкости образуются упругие продольные волны большой интенсивности.

2. Из-за резкого изменения давления в порах породы, заключенная в них жидкость сжимается, происходит гидравлический удар, в результате чего стенки пор, расширяясь, хрупко разрушаются. Происходит это явление при достижении критического значения растягивающего напряжения; при расчетах процесса гидромеханического разрушения забоя скважины, и взаимодействия высоконапорной струи бурового раствора с поверхностью забоя скважины пористых пород в условиях забоя скважины следует учесть объемную упругость пористой среды, заполненной жидкостью.

3. При увеличении давления в порах пород заключенная в них жидкость сжимается, происходит гидравлический удар, в результате чего стенки пор, расширяясь, хрупко разрушаются. Этот процесс происходит при достижении критического значения растягивающего напряжения. При расчетах в результате взаимодействия высоконапорной струи промывочной жидкости в забое скважины с пористыми породами происходит гидромеханическое разрушение забоя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости. Пер. с англ. под ред. Г.Ю. Степанова. М.: Мир, 1973. 760 с.
2. Козырев С.П., Шальнев К.К. Релаксационная гипотеза механизма соударения жидкости и твердого тела. ДАН СССР. Т. 192. № 3. С. 552—554.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. 842 с. ISBN 5-7107-6327-6.
4. Медведев И.Ф. Режимы бурения и выбор буровых машин. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1986. 223 с.
5. Максвелл Д.К. Труды по кинетической теории: сборник научных трудов. 3-е изд. М., 2020. 409 с.
6. Милн-Томсон Л.М. Теоретическая гидродинамика. М.: Мир, 1964. 656 с.
7. Ржевский В.В. Открытые горные работы. М.: URSS, 2019. Кн. 1. Производственные процессы. 512 с.
8. Сафаров Я.И. Повышение эффективности бурения нефтяных и газовых скважин в осложненных условиях. Баку: «САДА», 2000. 280 с.
9. Седов Л.И. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1970. Т. 2. 568 с.
10. Се Л.Ю. Распространение волн в пористой среде, насыщенной жидкостью. Тр. АОИМ, сер. Е. 1973. № 4. С. 36—40.
11. Федоров В.С., Беликов В.Г., Зенков Ф.Д. и др. Практические расчеты в бурении. М.: Недра, 1966. 600 с.
12. Хуршудов В.А., Балабешко В.В., Семяников В.С. Влияние температуры и давления на плотность бурового раствора. 1983, № 7. С. 9—11.
13. Darrigol O. Worlds of flow. A history of hydrodynamics from the Bernoullis to Prandtl. Oxford: Oxford University Press, 2005. 356 с. ISBN 978-0-19-856843-8.

## REFERENCES

1. Batchelor J. Introduction to fluid dynamics. Moscow: Mir, 1973. 760 p. (In Russ.).
2. Kozyrev S.P., Shalnev K.K. Relaxation hypothesis of the mechanism of collision of a liquid and a solid body. DAN SSR, Vol. 192, 1970, no. 3. P. 552—554 (In Russ.).
3. Loitsyansky L. G. Mechanics of liquid and gas. Moscow: Drofa, 2003. 842 p. ISBN 5-7107-6327-6 (In Russ.).
4. Medvedev I.F. Drilling modes and selection of drilling machines. 2nd ed., revised. and additional. Moscow: Nedra, 1986. 223 p. (In Russ.).
5. Maxwell D.K. Works on kinetic theory: collection of scientific papers. 3rd ed. Moscow, 2020. 409 p. (In Russ.).
6. Milne-Thomson L.M. Theoretical hydrodynamics. Moscow: Mir, 1964. 656 p. (In Russ.).
7. Rzhovsky V.V. Open pit mining. Moscow: URSS, 2019. Book. 1. Production processes. 512 p. (In Russ.).
8. Safarov Ya.I. Increasing the efficiency of drilling oil and gas wells in difficult conditions. Baku: "SADA", 2000. 280 p. (In Russ.).
9. Sedov L.I. Continuum mechanics. Moscow: Nauka, 1970. T. 2. 568 p. (In Russ.).
10. Xie L.Yu. Wave propagation in a porous medium saturated with liquid. Tr. AOIM, ser. E. 1973. No. 4. P. 36—40 (In Russ.).
11. Fedorov V.S., Belikov V.G., Zenkov F.D., et al. Practical calculations in drilling. Moscow: Nedra, 1966. 600 p. (In Russ.).
12. Khurshudov V.A., Balabeshko V.V., Semyanikov V.S. The influence of temperature and pressure on the density of drilling fluid. 1983. No. 7. P. 9—11 (In Russ.).
13. Darrigol O. Worlds of flow. A history of hydrodynamics from the Bernoullis to Prandtl. Oxford: Oxford University Press, 2005. 356 p. ISBN 978-0-19-856843-8.

## ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ибрагимов Р.С. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Бахшалиева Ш.О. — разработала концепцию и подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Сулейманова П.В. — разработала концепцию и подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Rafiq S. Ibrahimov — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Shirin O. Bahshaliyeva — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Parvana V. Suleymanova — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Ибрагимов Рафик Салман оглы** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Нефтегазовая инженерия» Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности.  
34, пр. Азадлыг, г. Баку. AZ1010, Азербайджан  
e-mail: [rafiq.ibrahimov@yahoo.com](mailto:rafiq.ibrahimov@yahoo.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1093-6369>

**Rafiq S. Ibrahimov** — Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof. of Oil and Gas engineering department, Azerbaijan State Oil and Industrial University.  
34, Azadlig Ave., Baku AZ1010, Azerbaijan  
e-mail: [rafiq.ibrahimov@yahoo.com](mailto:rafiq.ibrahimov@yahoo.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1093-6369>

**Бахшалиева Ширин Октай кызы** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Нефтегазовая инженерия» Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности.  
34, пр. Азадлыг, г. Баку. AZ1010, Азербайджан  
e-mail: [bahshaliyeva@mail.ru](mailto:bahshaliyeva@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3802-0747>

**Shirin O. Bahshaliyeva** — Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof. of Oil and Gas engineering department, Azerbaijan State Oil and Industrial University.  
34, Azadlig Ave., Baku AZ1010, Azerbaijan  
e-mail: [bahshaliyeva@mail.ru](mailto:bahshaliyeva@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3802-0747>

**Сулейманова Парвана Вагиф кызы** — докторская степень в области химии (PhD in Chemistry), старший преподаватель кафедры инженерной химии и экологии Сумгаитского государственного университета.  
1, ул. Баку, г. Сумгаит AZ5008, Азербайджан  
e-mail: [parvana.suleymanova@sdu.edu.az](mailto:parvana.suleymanova@sdu.edu.az)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4807-065X>

**Parvana V. Suleymanova** — PhD in Chemistry, Senior Lecturer of Department of Engineering Chemistry and Ecology, Sumgait State University of Azerbaijan.  
1, Baku str., Sumgait AZ5008, Azerbaijan  
e-mail: [parvana.suleymanova@sdu.edu.az](mailto:parvana.suleymanova@sdu.edu.az)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4807-065X>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАСТИ ФИЛЬТРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПРЕРЫВИСТОГО ВОДООТБОРА

И.А. ШАРОВ\*, Н.В. ФИСУН

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В работе рассмотрены особенности проведения и обработки опытно-фильтрационных работ в сложных гидрогеологических условиях при прерывистом водоотборе. Актуальность работы обусловлена широким распространением такого режима эксплуатации водоподъемных сооружений. Проблема исследования заключается в возможной неоднозначности данных, получаемых при откачках с переменными значениями дебита. Исследования проводились на Ергенинском месторождении минеральных вод, расположенном в зоне сочленения Ергенинской возвышенности и долины реки Волги.

**Цель.** Корректировка методики опытно-фильтрационных работ в условиях изменяющегося дебита на основании опыта авторов и соответствующих исследований.

**Материалы и методы.** В основу работы положен опыт геологоразведочных работ на действующем водозаборе с целью переоценки запасов подземных вод Ергенинского месторождения минеральных вод, разработка которого в соответствии с технологической схемой предусматривалась в прерывистом режиме дебита скважины. Опытная откачка из слабонапорного ергенинского горизонта продолжительностью трое суток проводилась в режиме эксплуатации, в ходе которой выделены 10 стадий дебита. Определение коэффициента водопроводимости выполнено методом суперпозиции по ступеням дебита как одиночное скачкообразное возмущение, прослеженное по приведенному понижению в приведенном времени. Уровень подземных вод фиксировался датчиком давления, дебит — по водомерному счетчику. Обработка откачки производилась методом временного прослеживания, в ходе опыта использовался одиночный водозабор. Полученные данные обработаны в программе Microsoft Excel.

**Результаты.** Исследовано влияние периодов неполного восстановления уровня подземных вод на достоверность результатов расчета коэффициента водопроводимости методом скачкообразного изменения дебита. Сформулирован вывод о возможных причинах значительных колебаний значений коэффициента водопроводимости в ходе обработки данных опытно-фильтрационных работ, возможности применения данного метода при обработке такого рода откачек.

**Заключение.** На основе результатов сделан вывод о наследии ступеней откачки с высоким дебитом на последующие. Выдвинуто предположение о влиянии границы области фильтрации III рода на данные, получаемые в ходе опытно-фильтрационных работ. На стадии откачки с высоким дебитом происходит инверсия разгрузки в вышележащий горизонт, наследство которой проявляется далее и при падении дебита и выражается ростом уровня, а не его снижением, как следовало ожидать. Отмечается, что достоверность данных, получаемых в ходе обработки таких откачек, обеспечивается в случае полного восстановления уровня после предыдущих ступеней.

**Ключевые слова:** опытно-фильтрационные работы, прерывистый режим водоотбора, Ергенинское месторождение, граничное условие III рода, коэффициент водопроводимости

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Шаров И.А., Фисун Н.В. Определение параметров области фильтрации в условиях прерывистого водоотбора. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2025;67(2):141—148. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-141-148>  
EDN: [YVHACQ](https://www.edn.ru/)

Статья поступила в редакцию 19.10.2024  
Принята к публикации 30.04.2025  
Опубликована 30.06.2025

\* Автор, ответственный за переписку

## DETERMINATION OF FILTRATION AREA PARAMETERS UNDER CONDITIONS OF INTERMITTENT WATER WITHDRAWAL

IVAN A. SHAROV\*, NATALIA V. FISUN

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

### ABSTRACT

**Background.** Specific features of conducting experimental filtration works in complicated hydrogeological conditions of intermittent water withdrawal are considered. The works were carried out at the Ergeninsky mineral water deposit, situated in the area of the junction of the Ergeninsky upland and the Volga River valley. Conclusions about the specific features of determining the aquifer parameters under these conditions are drawn; a review of the methods used for processing such pumps is provided.

**Aim.** Correction of the methodology of experimental filtration works under changing flow rate conditions.

**Materials and methods.** The groundwater reserves of the Ergeninsky mineral water deposit were revised based on the experience of geological exploration at the existing site of water withdrawal. In accordance with the technological scheme, the development of the deposit was planned in the mode of intermittent withdrawal. An experimental pumping from a weakly pressurized Ergeninsky horizon was carried out for three days in the operation mode, during which 10 stages of flow rate were identified. The determination of water transmissivity coefficient was performed by the method of superposition according to the flow rate steps as a single abrupt disturbance traced by the given decrease in the given time. The level of groundwater was recorded by a pressure sensor, while the flow rate was recorded by a water meter. Pumping treatment was carried out by the method of temporary tracing. A single water intake was used. The data obtained were processed using the Microsoft Excel software.

**Results.** The influence of periods of incomplete restoration of the groundwater level on the reliability of calculations of the transmissivity coefficient by the method of intermittent water flow rate was investigated. The conclusion is formulated about the possible causes of significant fluctuations in the water transmissivity coefficient when processing experimental filtration data, as well as about the possibility of using this method when processing such data.

**Conclusion.** An assumption is made about the influence of the filtration area boundary of the third kind on the data obtained during experimental filtration works. This correlation is expressed by the influence of the trend (increasing or decreasing) in the change of water withdrawal on the results of calculating the water transmissivity of the Ergeninsky aquifer by the method of intermittent water withdrawal, which makes it unacceptable in these conditions. At the pumping stage with a high flow rate, the discharge inversion into the overlying horizon occurs, the results of which continue further with a drop in flow rate and is expressed by an increase in the level, rather than by its decrease, as expected.

**Keywords:** filtration area parameters, intermittent water withdrawal conditions, Ergeninsky aquifer, transmissivity, single intermittent disturbance, processing of experimental filtration works

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Sharov I.A., Fisun N.V. Determination of filtration area parameters under conditions of intermittent water withdrawal. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(2):141—148. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-141-148> EDN: [YVHACQ](https://www.edn.ru/yvhacq)

Manuscript received 19 October 2024

Accepted 30 April 2025

Published 30 June 2025

\* Corresponding author

### Постановка задачи

Статья посвящена вопросам определения параметров пласта в условиях одиночного скачкообразного изменения дебита. Опыт решения подобных задач рассмотрен в работах [1—4]. Авторы данной статьи предлагают свой анализ методов определения фильтрационных параметров в зоне влияния одиночного водозабора, функционирующего в режиме прерывистого водоотбора. Отметим, что такой режим эксплуатации характерен для многих водозаборов, выводящих подземные воды для заводов розлива и для санаторно-курортных учреждений, что определяет актуальность рассматриваемой проблемы.

Рассматриваемый водозабор расположен в зоне сочленения Ергенинской возвышенности и долины реки Волги в одной из балок, представляющей собой эродированную ложбину восточного склона Приволжской возвышенности. Целевым служит ергенинский водоносный горизонт. Северо-западная и юго-восточная границы участка водозабора имеют тектонический характер и удалены от водозабора на расстояние, соответственно, 668 и 290 м. Северо-восточная граница проходит на расстоянии 430 м, совпадая с контуром выклинивания ергенинских отложений вблизи обрывов Волжской террасы, где они контактируют с хазарскими глинами (рис. 1). На тектонических границах в естественных условиях отмечается разгрузка ергенинского горизонта, и здесь при эксплуатации водозабора может быть задано ГУ III — инверсия разгрузки (W). Северо-восточная граница является закрытой границей с ГУ II. Четвертая (юго-западная) граница выделяется по выходам целевого горизонта на поверхность в области питания на расстоянии 4 км от водозабора, и в этом направлении граница пласта в гидродинамической модели может рассматриваться как ГУ I.

Целевой горизонт содержит слабонапорные воды, в кровле которых залегает горизонт скифских глин, отделяющих ергенинский горизонт

от вышележащего водоносного горизонта четвертичных отложений с разностью отметок  $\Delta H = 8$  м — граница с ГУ III (слоистая толща с перетеканием). Обработка откачки из исследуемого водозабора ранее не выполнялась, и коэффициент водопроводимости целевого ергенинского горизонта был принят равным  $14,6 \text{ м}^2/\text{сут}$  по результатам разведочных работ на смежных участках.

Обоснованная авторами по результатам разведки гидродинамическая модель показана на рисунке 1. Область фильтрации в плане представляет собой пласт П-образной формы с двумя границами III рода (инверсия разгрузки W), одной закрытой границей ГУ II ( $Q = 0$ ). Верхней границей в разрезе служит ГУ III, через которую происходит перетекание в смежный вышележащий горизонт, и здесь также при работе водозабора возможна инверсия разгрузки. По гидрогеологическим условиям участок водозабора характеризуется третьей группой сложности. Формирование запасов может обеспечиваться разными источниками, включая сработку упругих запасов и, вероятно, инверсию разгрузки. Роль закрытой границы оставалась неясной, поскольку в условиях кратковременной откачки она не проявилась.

Для оценки фильтрационных параметров целевого горизонта на стадии переоценки запасов авторами выполнена обработка откачки по данным, полученным в ходе эксплуатационной разведки. При откачке водозабор функционировал в соответствии с технологической схемой разработки, которая исключала полную остановку скважины, предусматривала ее работу в соответствии с режимом цеха розлива и одновременно обеспечивала сброс минеральных подземных вод в объеме  $4—5 \text{ м}^3/\text{сут}$  в целях свободного доступа населения к источнику. Таким образом, скважина находилась в работе непрерывно, включая периоды технологических остановок цеха розлива, и функционировала в прерывистом режиме.

Откачкой предусматривалось решение двух задач: получение обоснованных данных о величине

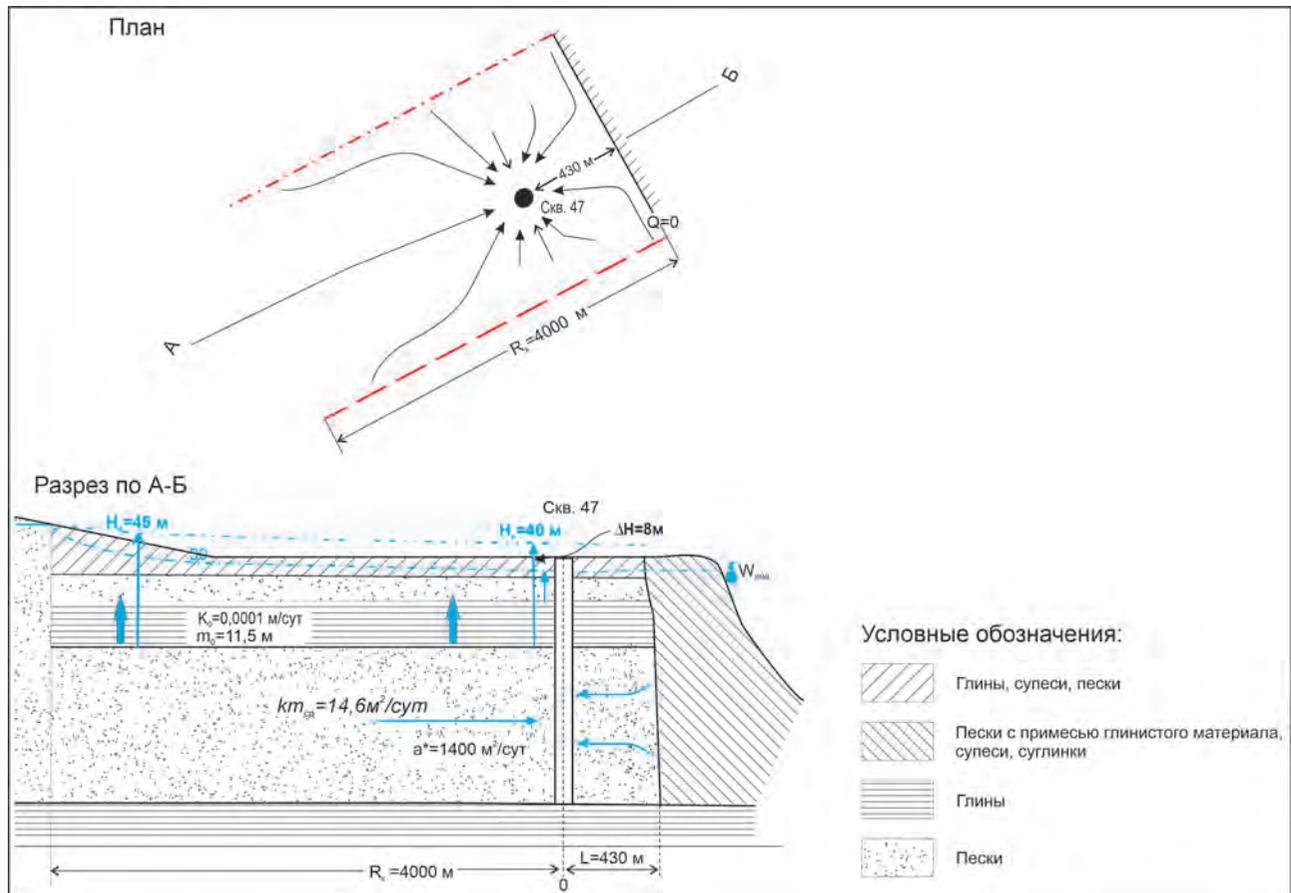


Рис. 1. План и геологический разрез водозаборного участка по линии А—Б  
Fig. 1. Plan and geological cross-section of the water intake section along line A—B

водопроницаемости пласта и оценка влияния границ области фильтрации.

### Обзор методов обработки откачки в условиях прерывистого водоотбора

Вопросом расчета параметров при скачкообразном изменении дебита занимались Ф.М. Бочеввер, Б.В. Боровский, Р.С. Штенгелов, Н.В. Фисун и другие [1—4].

В работе [3] предложен вариант обработки таких откачек с введением поправок на асинхронный режим дебита и изменения атмосферного давления. В опыте участвовали два водозаборных узла (ВЗУ), включающих 4 эксплуатационных и наблюдательную скважину глубиной в среднем 180 м. Режим откачки на обоих этапах асинхронный; диапазон изменения суммарного дебита изменялся от 2—5 до 25—30%. В течение зимнего этапа групповой опытно-эксплуатационной откачки дебит изменяли в две ступени, в течение летнего — дебит изменялся несколько раз при включении/выключении скважин. Расстояния до пунктов

наблюдения достаточно велики (5000—13 000 м) по сравнению с площадью расположения возмущающих скважин (350 м), поэтому введение поправки на асинхронный режим дебита осуществлялось по методу сосредоточенного скачкообразного возмущения, основанного на преобразовании уравнения Тейса — Джейкоба, аналогично предложенному в работе Ф.М. Бочевера [1]:

$$\varphi = \frac{0,183}{T} \lg \frac{2,25at_{\text{прив}}}{r^2}, \quad (1)$$

$$\lg t_{\text{прив}} = \frac{Q_1 \lg t + \Delta Q_1 \lg(t-t_2) + \dots + \Delta Q_{n-1} \lg(t-t_n)}{Q_n}, \quad (2)$$

где  $\varphi = S/Q_n$  — удельное понижение;  $Q_n$  — суммарный дебит на  $n$ -й ступени изменения дебита;  $\Delta Q_i = Q_{i+1} - Q_i$ ,  $t_2 \dots n$  — время начала соответствующих ступеней;  $t$  — текущее время от начала опыта;  $t_{\text{пр}} — приведенное время.$

Введение поправок на изменения атмосферного давления было вызвано необходимостью учета изменчивости атмосферного давления

в ходе групповой опытно-эксплуатационной откачки и малыми величинами понижения уровней. В таких условиях даже ординарные изменения атмосферного давления могут спровоцировать существенные диагностические ошибки. Снижение давления на 10—20 мм в течение 5—10 суток задерживает темп понижения уровней, что может быть ошибочно диагностировано как наступление ложностационарного режима фильтрации.

В основе метода расчета параметров по данным опытных опробований при скачкообразном изменении дебита, предложенном Ф.М. Бочевеком и Б.В. Боровским [1, 2], лежит метод суперпозиции путем непосредственного наложения возмущений, вызванных каждой ступенью скачкообразного изменения дебита. Формула для расчета при этом имеет вид:

$$S = \frac{Q_T}{4\pi k m} R_{c1}, \quad (3)$$

где  $Q_T$  — максимальный или некоторый фиксированный расход скважины в течение всего периода откачки,  $R_{c1}$  — безразмерное гидравлическое сопротивление, которое можно рассчитать по формуле:

$$R_{c1} = -\sum_{j=1}^n \beta_j E_i - \frac{r^2}{4a(t-t_{j-1})} \quad (4)$$

при  $\beta_j = \frac{Q_j - Q_{j-1}}{Q_T}$ .

В формуле (4):  $Q_j$  — расход в интервале времени  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ;  $n$  — число интервалов изменения расхода).

График  $S-t$ , отвечающий рассматриваемому случаю скачкообразного изменения расхода, отражает эти изменения соответствующими изменениями уровня: на границах интервалов времени происходит скачок уровня, а затем постепенное его понижение. Важно отметить, что при вычислении безразмерного гидравлического сопротивления для каждой ступени изменения дебита принимается полное время  $\Delta t = t - t_{j-1}$ , то есть так, как если бы в дальнейшем от момента времени  $t_{j-1}$  до момента времени  $t$  прирост дебита  $\Delta Q = Q_j - Q_{j-1}$  сохранялся постоянным, а понижение уровня под влиянием этого дебита происходило в течение всего периода  $\Delta t$ . Влияние скачкообразных изменений дебита можно рассматривать изолированно, как влияние, например, скважины с расходом  $\Delta Q$ . Суммарное понижение выразится суммой понижений, вызванных всеми скачками дебита.

Авторами [4] выполнен сопоставительный анализ результатов опытных работ на водозаборной скважине, функционирующей в цехе промышленного розлива, в разных режимах:  $Q = \text{const} = 816 \text{ м}^3/\text{сут}$  (5 часов),  $Q = \text{const} = 1440 \text{ м}^3/\text{сут}$  (7,5 часа) и  $Q \neq \text{const}$  в режиме работы, который задавался рабочим режимом цеха розлива.

В ходе откачки в разных режимах дебита производилось гидрогеохимическое опробование, результаты которого показали, что качество подземных вод при реальном прерывистом водоотборе существенно отличается от состава, исследованного в режиме  $Q = \text{const}$ . В связи с этим авторы делают вывод о приоритете опытных работ в режиме  $Q \neq \text{const}$ , соответствующем технологии производства, но параметры пласта предлагается определять по результатам одной, наиболее продолжительной ступени, в течение которой можно принять  $Q = \text{const}$ .

Авторами данной работы исследовано изменение результатов расчетов фильтрационных параметров пласта по методике, рассмотренной в работах [1, 2], путем сопоставления результатов, полученных при включении в расчет каждой последующей ступени дебита, включая этапы его снижения.

#### Методика исследований

Для откачки был выбран период работы водозабора, при котором дебит скважины изменялся от 0,1 до 90,6 м<sup>3</sup>/сут. Продолжительность опытного периода составила трое суток, в течение которых выделены 10 стадий дебита (рис. 2, табл. 1).

Дебит фиксировался по водомерному счетчику, уровень — датчиком давления.

Расчет коэффициента водопроводимости выполнялся методом суперпозиции по ступеням дебита как одиночное скачкообразное возмущение, прослеженное по приведенному понижению  $S/Q$  в приведенном времени  $t_{\text{прив}}$ . Приведенное время рассчитывалось по формуле (2).

#### Результаты исследований

Графики временного прослеживания на разных ступенях опыта показаны на рисунке 3, результаты расчета коэффициента водопроводимости по мере включения в расчет последующих ступеней дебита — в таблице 1 и на рисунке 4. Ступени 3, 7 не обрабатывались из-за недостаточности данных прослеживания уровня, но учтены при расчетах  $t_{\text{прив}}$  на последующих ступенях дебита. На ступени 5 прослежен только установившийся режим, водопроводимость определена по Дюпюи.

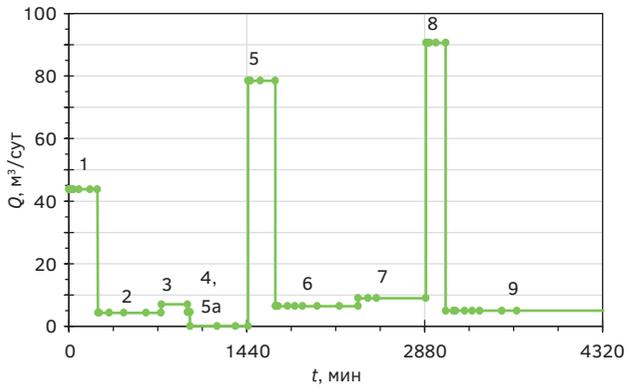


Рис. 2. Изменение дебита при откачке  
Fig. 2. Change in flow rate during pumping

Как видно, точки индикаторного графика не «легли» на одну линию, а рассчитанный коэффициент водопроницаемости на разных ступенях дебита различается более чем в 10 раз. Можно заметить, что его значения оказываются

в зависимости от дебита ступени (рис. 5): они выше на ступенях со снижающимся дебитом. Это может свидетельствовать о том, что на стадии с высоким дебитом происходила инверсия разгрузки целевого горизонта в вышележащий горизонт и после резкого снижения дебита эта инверсия какое-то время продолжалась, приводя к росту уровня на следующей ступени как результат наследства откачки на предшествующей ступени.

На основе выполненных расчетов можно сделать выводы:

1. При обработке откачки со скачкообразно изменяющимся дебитом возможно проявление на ступенях низкого дебита наследства ступеней с более высокими дебитами.

2. Достоверные значения параметров пласта при нескольких ступенях дебита откачки могут быть получены только при условии прослеживания полного восстановления уровня после каждой предыдущей ступени откачки с более

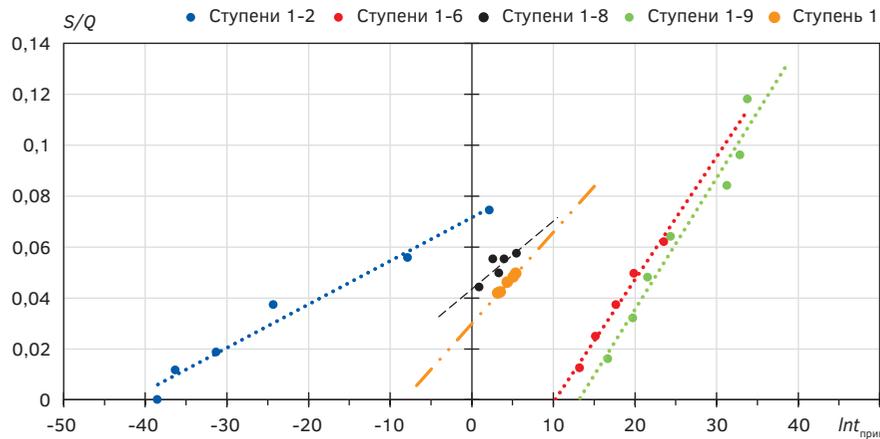
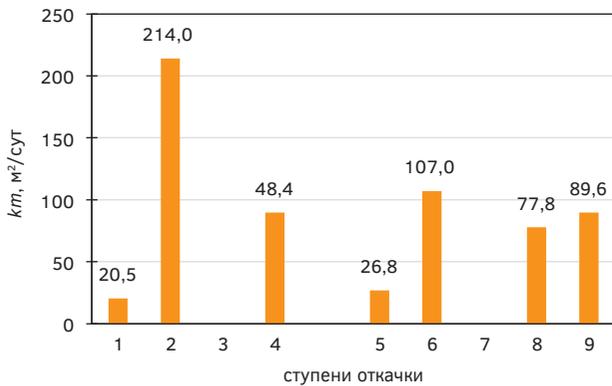


Рис. 3. Графики временного прослеживания одиночного скачкообразного возмущения  
Fig. 3. Time-tracing graphs of a single jump disturbance

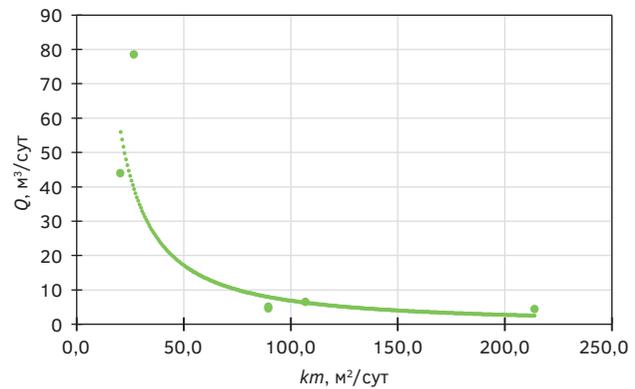
Таблица. Исходные данные и результаты откачки  
Table. Initial data and pumping results

Период	Время, мин	Дебит, м³/сут	ΔQ, м³/сут	Метод расчета коэффициента водопроницаемости	
				Суперпозиции при квазистационарном режиме	Стационарный режим (по Дююи)
1	0—230	43,8	43,8	20,5	-
2	231—745	4,3	-39,5	214,0	-
4	961—980	4,5	-2,5	48,4	-
5	1450—1760	78,5	78,5	Стационарный режим	26,8
6	1761—2340	6,45	-72,05	107,0	-
8	2891—3050	90,6	81,6	77,8	-
9	3051—4324	5,0	-85,6	89,6	-



**Рис. 4.** Результаты расчета коэффициента водопроницаемости нарастающим итогом на разных стадиях откачки

**Fig. 4.** Results of calculating the water conductivity coefficient by cumulative total at different stages of pumping



**Рис. 5.** Изменение расчетных значений коэффициента водопроницаемости пласта на разных ступенях откачки со скачкообразным дебитом

**Fig. 5.** Change in the calculated values of the water conductivity coefficient in the formation at different stages of pumping with a jump in flow rate

высоким дебитом. В рассматриваемой задаче это условие не выдержано, поэтому следует принять значение  $km = 20,5 \text{ м}^2/\text{сут}$  по первой ступени.

3. Влияние плановых границ при откачке не проявилось. Для его прослеживания следует иметь результаты наблюдений опытно-эксплуатационной откачки в течение времени, достаточного для формирования депрессионной воронки в радиусе ее

влияния с учетом расстояния до «зеркально отраженной» расчетной скважины.

4. Выполненные исследования актуальны для корректировки методики опытно-фильтрационных работ при нескольких ступенях дебита откачки: методика обработки методом скачкообразного изменения уровня применима для условий, когда дебит постоянно повышается, либо постоянно снижается.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Боровский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. 2-е изд. М.: Недра, 1979. 326 с.
2. Боचेвер Ф.М. Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Недра, 1968. 328 с.
3. Штенгелов Р.С., Филимонова Е.А., Шубин И.С. Обработка откачки из напорного водоносного горизонта при переменном дебите и атмосферном давлении. Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2017. № 3. С. 50—58.
4. Фисун Н.В., Шапин А.А. Особенности формирования понижения и качества подземных вод в условиях прерывистого режима водоотбора. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2014. № 5. С. 75—79.

## REFERENCES

1. Borevskij B.V., Samsonov B.G., Jazvin L.S. Methodology for determining the parameters of aquifers based on pumping data. Moscow: Nedra Publ., 1979, 2nd ed., 326 p.
2. Bochever F.M. Theory and practical methods of hydrogeological calculations of operational groundwater reserves. Moscow: Nedra Publ., 1968, 328 p.
3. Shtengelov R.S., Filimonova E.A., Shubin I.S. Analysis of multi-well pumping test under atmosphere pressure and anisochronous schedule of pumping rate. Moscow University Bulletin Series 4 Geology, 2017, no. 3, pp. 50–58.
4. Fisun N.V., Shapin A.A. Features of the formation of lowering and quality of groundwater in conditions of intermittent drainage regime. News of higher educational institutions. Geology and exploration, 2014, no. 5, pp. 75–79.

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Шаров И.А. — подготовил текст статьи, провел анализ различных методов обработки и представил его результаты, разработал концепцию статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Фисун Н.В. — разработала концепцию статьи, собрала основной теоретический материал, произвела диагностику и интерпретацию полевых данных, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ivan A. Sharov — prepared the text of the article, analyzed various methods, and presented the results, developed the concept for the article and finally approved the final version of the article, agree to take full responsibility for all aspects of this work.

Natalia V. Fisun — developed the concept for the article, gathered the main theoretical materials for the article, conducted diagnostics and interpretation of field data, and finally approved the published version of the article, also agreed to take responsibility for all aspects of the work related to the article.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Шаров Иван Андреевич\*** — студент 4-го курса ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117977, Россия  
e-mail: [ivan.sharov.2013@bk.ru](mailto:ivan.sharov.2013@bk.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0304-4773>

**Фисун Наталья Валентиновна** — доцент кафедры гидрогеологии имени В.М. Швеца ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117977, Россия  
e-mail: [fisunnv@mgri.ru](mailto:fisunnv@mgri.ru)  
SPIN-код: 2630-5945  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5657-941X>

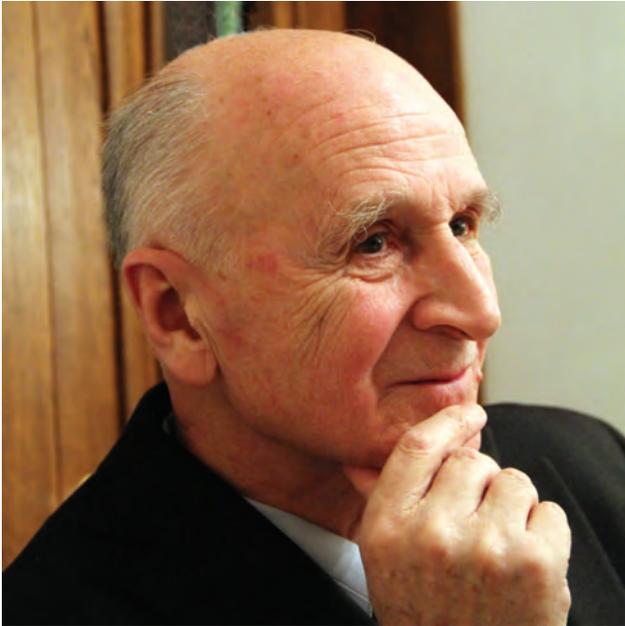
**Ivan A. Sharov\*** — 4<sup>th</sup> year student at the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117977, Russia  
e-mail: [ivan.sharov.2013@bk.ru](mailto:ivan.sharov.2013@bk.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0304-4773>

**Natalia V. Fisun** — Assoc. Prof. of the Department of Hydrogeology named after V.M. Shvets of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117977, Russia  
e-mail: [fisunnv@mgri.ru](mailto:fisunnv@mgri.ru)  
SPIN-code: 2630-5945  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5657-941X>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## КАРАУЛОВ ВАСИЛИЙ БОРИСОВИЧ

### (К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

16 июня 2025 г. исполнилось 90 лет со дня рождения и 50 лет научной и педагогической деятельности доктора геолого-минералогических наук, профессора кафедры палеонтологии и региональной геологии МГРИ Василия Борисовича Караулова.

Основным направлением научных исследований В.Б. Караулова было изучение стратиграфии и тектоники палеозойских отложений Урало-Монгольского складчатого пояса. По материалам этих исследований в 1985 г. им защищена докторская диссертация на тему «Девонские геологические формации Урало-Монгольского пояса (сравнительная характеристика и тектонический анализ)», а в 1988 г. была опубликована монография «Тектонический анализ девонских формаций Урало-Монгольского пояса». Будучи убежденным в том, что основой любого геологического исследования является хорошо обоснованная схема стратиграфии слагающих данный район толщ, где бы он ни работал, В.Б. Караулов в первую очередь обращал внимание на создание детальной стратиграфической основы. Непосредственно В.Б. Карауловым или при его участии были разработаны стратиграфические схемы палеозойских отложений Западного Приохотья, северо-западной части Рудного Алтая и западного склона Южного Урала. При характеристике палеозойских отложений Западного Приохотья он одним из первых особое внимание обратил на описание «хаотических комплексов», представляющих собой горизонты подводно-оползневое происхождения, которые позже стали называть олистостромами.

В.Б. Караулов анализировал различные проблемы общей стратиграфии. Его работы посвящены выделению трансгрессивных и регрессивных комплексов в разрезах геосинклинальных толщ. Им сформулирована закономерность, заключающаяся в инверсии

литологических признаков, указывающих на изменения уровня моря в зонах интенсивного погружения и на склонах поднятий. Особое место в его исследованиях занимает вопрос о роли историко-геологических методов в стратиграфии и связанная с ним проблема этапности развития осадочных бассейнов. Им показано существование реальных палеогеографических и палеобиологических рубежей, обусловленных тектоно-эвстатическими колебаниями и выраженных хорошо прослеживаемыми изохронными горизонтами. В.Б. Караулов последовательно отстаивал преимущества учения о платформах и геосинклиналях, которое представляет собой не геотектоническую концепцию, а эмпирическое обобщение, наиболее адекватно отражающее наши знания об эволюции платформ и подвижных поясов.

В 2018 г. в связи с почти полной потерей зрения В.Б. Караулов был вынужден оставить преподавательскую работу, но сумел дописать и издать свою последнюю монографию «Наука геология и тектоника плит». Всего В.Б. Карауловым опубликовано более 200 научных и учебно-методических работ.

За многолетнюю работу, профессионализм, чуткое и внимательное отношение к людям, честность, отзывчивость и тактичность он снискал всеобщее уважение коллектива университета. Заслуги В.Б. Караулова высоко оценены. За многолетнюю научно-педагогическую деятельность по подготовке высококвалифицированных кадров В.Б. Караулов награжден медалью «Ветеран труда», знаками «300 лет горно-геологической службе России», «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации».

Друзья и коллеги сердечно поздравляют В.Б. Караулова с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, творческого долголетия, оптимизма, душевного спокойствия и благополучия в личной жизни.

*Коллектив МГРИ  
Геологоразведочный факультет  
Кафедра палеонтологии и региональной геологии МГРИ  
Редколлегия журнала*

## ЧЕРЕПАНСКИЙ МИХАИЛ МИХАЙЛОВИЧ

### (К 75-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

24 июня 2025 года Михаилу Михайловичу Черепанскому — профессору кафедры гидрогеологии имени В.М. Швеца, доктору геолого-минералогических наук исполнилось 75 лет.

От всей души поздравляем Вас с замечательным юбилеем! Ваш путь в науке и образовании является ярким примером преданности своему делу и беззаветного служения профессии.

Более полувека Вы посвятили гидрогеологии. Пройдя блестящий путь выпускника Гомельского университета (1972 год, квалификация «инженер-геолог-гидрогеолог») от старшего инженера до директора Центрального научно-исследовательского института комплексного использования водных ресурсов по 2004 год. В 2004—2005 годах работали руководителем Московско-Окского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов МПР России. С 2005 года работаете в МГРИ: профессор, проректор, начальник управления, заведующий кафедрой гидрогеологии. За это время Вы получили степень доктора наук (2007 год) и звание профессора (2018 год). 45 лет научно-педагогической деятельности, более 260 научных публикаций — все это говорит о Вашем огромном вкладе в развитие геологической науки. Профессиональный гидрогеолог, сертифицированный (94-HG-1081) Американским Институтом гидрологии (1994), член Международной ассоциации гидрогеологов (1996).

Ваши исследования посвящены теории и практике управления охраны водных ресурсов, взаимосвязи поверхностных и подземных вод, прогнозу влияния отбора подземных вод на гидрологические и гидрогеологические условия прилегающих территорий, их защите, охране водных объектов от загрязнения и истощения.

Вы являлись членом Экологического совета при Комиссии Парламентского собрания Союза Беларуси и России по природным ресурсам, экологии и охране окружающей среды.

За многолетний и добросовестный труд награждены в 1989 г. значком «Отличник Минводхоза СССР», в 2000 г. — Почетной грамотой Минприроды Респуб-



лики Беларусь, в 2010 г. — Почетной грамотой Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, в 2014 г. — серебряным нагрудным знаком «Геологическая служба России», в 2016 г. — медалью имени А.Е. Ферсмана «За заслуги в геологии», в 2018 г. — нагрудным знаком «Отличник водного хозяйства», в 2020 г. — нагрудным знаком «Почетный работник водного хозяйства».

Особенно хочется отметить Ваше наставничество над молодыми учеными, руководство аспирантами и дипломниками, а также постоянную работу по совершенствованию образовательного процесса.

Ваше имя прочно связано с кафедрой гидрогеологии имени В.М. Швеца, где Вы успешно совмещаете преподавательскую деятельность с научной работой. Курсы, которые Вы читаете, стали настоящим путеводным светом для многих поколений студентов. Ваши методические разработки и учебные издания, включенные в образовательный процесс, получили заслуженное признание в профессиональном сообществе.

Пусть Ваша неиссякаемая энергия и дальше содействует развитию науки и образования! Желаем Вам крепкого здоровья, новых научных открытий, благодарных учеников и осуществления всех намеченных планов. Пусть каждый день приносит радость от любимого дела и удовлетворение от достигнутых результатов!

С глубоким уважением и наилучшими пожеланиями,  
*коллектив МГРИ,  
гидрогеологический факультет,  
кафедра гидрогеологии имени В.М. Швеца,  
редколлегия журнала*

